TESIS DOCTORAL

UCAM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado en Ciencias Sociales

La influencia de las variables exógenas en la eficiencia de los servicios públicos municipales

Autor:

María del Carmen Conesa Pérez

Directores:

Dr. D. Bernardino Benito López

Dra. Dª. María Concepción Parra Meroño

Murcia, septiembre de 2024

TESIS DOCTORAL

UCAM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Programa de Doctorado en Ciencias Sociales

La influencia de las variables exógenas en la eficiencia de los servicios públicos municipales

Autor:

María del Carmen Conesa Pérez

Directores:

Dr. D. Bernardino Benito López

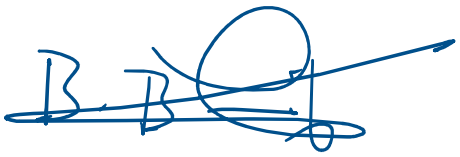
Dra. Dª. María Concepción Parra Meroño

Murcia, septiembre de 2024

AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR DE LA TESIS
PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Bernardino Benito López y la Dra. Dª. María Concepción Parra Meroño, como directores de la Tesis Doctoral titulada "La influencia de las variables exógenas en la eficiencia de los servicios públicos municipales" realizada por Dª. María del Carmen Conesa Pérez en el Programa de Doctorado en Ciencias Sociales, **autorizan su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmamos, para dar cumplimiento al Real Decreto 99/2011 de 28 de enero, en Murcia a 09 de septiembre de 2024.



Dr. D. Bernardino Benito López

Dra. Dª. María Concepción Parra Meroño

RESUMEN

El objetivo central de esta investigación es analizar los determinantes de los niveles de (in)eficiencia alcanzados por los municipios españoles de entre 1.000 y 50.000 habitantes en la prestación de dos servicios esenciales: el alumbrado público y los parques y jardines. Si bien se estima el nivel de eficiencia técnica, es principalmente con la finalidad de descubrir si las diferencias encontradas pueden ser explicadas por una serie de factores exógenos ambientales o del entorno. La identificación de las fuentes de (in)eficiencia permitirá aportar la información necesaria para capacitar la adopción de medidas pertinentes para la mejora de la provisión de estos servicios.

Para alcanzar el objetivo propuesto, se explorará un procedimiento de estimación de dos etapas de Simar y Wilson (2007) basado en técnicas bootstrap que permiten una inferencia estadística adecuada siempre y cuando se satisfagan las condiciones previas.

En la primera etapa, se calcula el índice de eficiencia mediante uno de los programas DEA. Después, en la segunda etapa, el índice de eficiencia técnica calculado se utiliza como variable dependiente y se regresa, mediante una regresión truncada, sobre las variables que representan los factores ambientales para investigar su efecto sobre la eficiencia.

Durante el desarrollo de la segunda etapa, la mayoría de los estudios han utilizado la regresión por mínimos cuadrados ordinarios o una regresión censurada Tobit, por lo que las aplicaciones empíricas han estado usando un modelo paramétrico restrictivo que invalidaba los resultados. En este sentido, el procedimiento que se sigue en esta investigación se aplica con toda rigurosidad, contrastándose hipótesis críticas, como la condición de separabilidad. Se ha comprobado que este es un supuesto coherente con los datos de la muestra analizada. Esto implica que los resultados y las conclusiones que se deriven de ellos son robustos.

Los resultados revelan una relación estadísticamente significativa con todos los factores analizados que caracterizan el entorno socioeconómico, demográfico y político de los gobiernos locales en la prestación de servicios seleccionados. Las principales conclusiones que se derivan son las siguientes:

Una mayor capacidad financiera, procedente de una elevada presión fiscal, favorece los niveles de ineficiencia y alienta el comportamiento relajado y derrochador del gestor público. Sin embargo, los altos niveles de renta de los ciudadanos favorecen la eficiencia, ya que un mayor nivel de riqueza motiva a los ciudadanos a controlar más exhaustivamente la gestión de los recursos y a exigir una mejor calidad de los servicios. En cuanto al tercer factor analizado, asociado al nivel de riqueza del municipio (el valor catastral de las propiedades), muestra, para el servicio de alumbrado público, un efecto negativo sobre la eficiencia, lo que indica que un mayor valor de las propiedades podría asociarse a una mayor recaudación fiscal y ocasionar el comentado comportamiento laxo en la gestión de los recursos. Los resultados son opuestos en el otro servicio, pero son coherentes con lo comentado respecto al nivel de riqueza de los habitantes del municipio.

La densidad de población muestra un impacto negativo solo en el servicio de alumbrado público. Una mayor densidad de población en el área urbana parece derivar en un incremento de costes que no se ve compensado por las ventajas que las economías de escala producirían en la prestación de este servicio. El impacto sobre la provisión de parques y jardines demuestra que la concentración de usuarios en las zonas urbanas propicia las economías de densidad, lo que favorece la eficiencia.

Las variables de desempleo e inmigración se han tenido en cuenta en el servicio de infraestructuras de parques y jardines, y los resultados muestran que el nivel de desempleo incentiva una gestión más racional de los recursos, ya que hay que destinar parte de estos a prestaciones más urgentes, como el subsidio de desempleo. Esto tiende a mejorar los niveles de eficiencia de los municipios. En cambio, el porcentaje de inmigrantes en relación con la eficiencia de la provisión de parques y jardines tiene un efecto negativo.

En líneas generales, los índices de actividad industrial, comercial y turística suelen tener un efecto negativo sobre los niveles de eficiencia. Con dos excepciones justificables, un marcado perfil turístico favorece la eficiencia del servicio de parques y jardines, lo que es coherente, puesto que las infraestructuras de calidad atraerán mejoras en este sector. Igualmente, se ve favorecida la eficiencia del alumbrado público en los municipios con tejido industrial, donde la alta demanda potenciará la buena gestión o, a la inversa.

Por último, en cuanto a los factores políticos, se ha confirmado en los dos servicios que la ideología sí afecta a la gestión eficiente. En ambas áreas, los gobiernos conservadores favorecen la gestión eficiente. La fragmentación política es desfavorable en alumbrado; la imposibilidad de ajustar los presupuestos convenientemente y las concesiones necesarias para formar gobierno repercuten negativamente en la eficiencia. En cambio, en el caso de los parques y jardines, se benefician del control o la exigencia de rendición de cuentas que, desde otros partidos, se podría estar ejerciendo.

Los determinantes señalados ofrecen una guía estratégica a los gestores públicos sobre qué variables considerar a la hora de analizar sus ineficiencias y las políticas y acciones que deben adoptarse para mejorar la prestación del servicio. No obstante, los resultados indican que el impacto de las variables en la prestación de servicios dependerá del área que se someta a estudio y de las características asociadas a cada uno.

ABSTRACT

The main objective of this research is to analyse the determinants of the levels of (in)efficiency achieved by Spanish municipalities between 1,000 and 50,000 inhabitants in the provision of two essential services: public lighting and parks and gardens. Although the level of technical efficiency is estimated, the main aim is to find out whether the differences found can be explained by a series of exogenous environmental factors. The identification of the sources of (in)efficiency will

provide the necessary information to enable the adoption of relevant measures to improve the provision of these services.

To achieve the proposed objective, a two-stage estimation procedure (Simar and Wilson, 2007) based on bootstrap techniques will be explored, which allows for adequate statistical inference if the preconditions are met.

In the first stage of the approach, the efficiency index is calculated using one of the DEA programmes. Then, in the second step, the calculated technical efficiency index is used as a dependent variable and regressed on the variables representing the environmental factors by means of a truncated regression to investigate their effect on efficiency.

During the development of the second stage, most studies have used ordinary least squares regression or a censored Tobit regression, so that the empirical applications have used a restrictive parametric model that invalidates the results. In this sense, the procedure followed in this research is rigorous, testing critical hypotheses such as the separability condition. It has been shown that this assumption is consistent with the data of the sample analysed. This means that the results and the conclusions drawn from them are robust.

The results show a statistically significant relationship with all the factors analysed that characterise the socio-economic, demographic and political environment of local governments in the provision of selected services. The main conclusions are:

Greater financial capacity, resulting from a high tax burden, favours levels of inefficiency and encourages lax and wasteful behaviour on the part of public managers. On the other hand, a high level of citizens' income favours efficiency, given that a higher level of wealth motivates citizens to exercise greater control over the management of resources and to demand better quality services. Regarding the third factor analysed related to the level of wealth of the municipality, the cadastral value of the properties, it shows, for the public lighting service, a negative effect on efficiency, indicating that a higher value of the properties could be associated with a higher tax collection, causing the aforementioned lax behaviour in the management of resources. For the other service, the results are opposite, but in line with what has been said about the level of wealth of the inhabitants of the municipality.

Population density has a negative effect only on the public lighting service. The higher the population density in the urban area, the higher the costs appear to be, which are not offset by the benefits that economies of scale would bring to the provision of this service. The impact on the provision of parks and gardens shows that the concentration of users in urban areas favours economies of density and thus efficiency.

The variables of unemployment and immigration were considered in the provision of parks and gardens infrastructure, with the results showing that the level of unemployment favours a more rational management of resources by having to allocate part of them to more urgent services such as unemployment benefits, which tends to improve the efficiency of municipalities. On the other hand, the proportion of immigrants is unfavourable in terms of the efficiency of the provision of parks and gardens.

In general, the indices of industrial, commercial and tourist activity tend to have a negative effect on efficiency levels. There are two justifiable exceptions. Thus, a strong tourist profile favours the efficiency of parks and gardens services, which is logical since quality infrastructures attract improvements in this sector; similarly, the efficiency of public lighting is favoured in municipalities with an industrial fabric, where the high demand for it favours good management, or vice versa.

Finally, in terms of political factors, the two services confirmed that ideology has an impact on efficient management. In both sectors, conservative governments favour efficient management. In lighting, political fragmentation is unfavourable; the inability to adjust budgets appropriately and the concessions required to form a government have a negative impact on efficiency. Parks and gardens, on the other hand, benefit from the control and accountability that can be exercised by other parties.

The above determinants provide strategic guidance to public managers on the variables to consider when analysing their inefficiencies and the policies and actions to be adopted to improve service delivery. However, the results indicate that the impact of the variables on service delivery will depend on the area under study and the characteristics associated with each.

PALABRAS CLAVE

Eficiencia. Análisis envolvente de Datos. Modelos de dos etapas. Servicios Públicos. Gobierno Local.

KEY WORDS

Efficiency. Data Envelopment Analysis. Two-stage models. Public services. Local government.

AGRADECIMIENTOS

Han pasado varios años desde que comencé el camino que me ha llevado hasta aquí. A veces, han sido momentos difíciles que se ven recompensados por todo lo aprendido en el camino y por la finalización de esta tesis doctoral. Este largo proceso de aprendizaje no habría sido posible sin el apoyo y la paciencia de muchas personas a las que me gustaría dedicar unas palabras de agradecimiento.

En primer lugar, a los directores de este proyecto. D. Bernardino Benito López, por confiar en mí, por su dedicación, profesionalidad y magnífica dirección durante todos estos años. Gracias por el esfuerzo e interés mostrado. D.ª Concepción Parra Meroño, por su insistente interés y por su esfuerzo para que esto saliera adelante.

A Pepe, por implicarse en este proyecto, por aportar sus amplios conocimientos en el área estadística y por su amable disposición para resolver cuantas dudas me han ido surgiendo.

Mi agradecimiento se extiende también a todos mis compañeros de trabajo por su cercanía y disponibilidad. A Gonzalo Wandosell, por su apoyo, paciencia y comprensión. A Mercedes Carmona por su silencio cómplice y el cariño transmitido. A Pilar Flores por sus palabras de ánimo y regalos sorpresa. A María Dolores García por sus acertados consejos y su enérgica defensa.

De manera especial, quiero agradecer a mi gran amiga Isabel Ros que me haya enseñado un mundo nuevo lleno de «soluciones espirituales» que me han permitido afrontar el presente desde una nueva perspectiva llena de amor.

Para finalizar, quiero tener unas palabras de consideración para mi familia, para los presentes y ausentes. A mis padres, José y Francisca, por ser el ejemplo perfecto de sacrificio y fuerza de voluntad necesarios para hacer lo correcto, por no fallar nunca y por recibir de ellos mucho más de lo merecido y esperado, y por todo lo que no puedo expresar con palabras. GRACIAS, MUCHAS GRACIAS. Papá, «ya tengo el papel». A ellos dedico esta tesis.

A mis hermanos, Paki y Jesús, por los buenos y malos momentos compartidos. A mi abuela, María, por su ayuda «divina». Gracias por todo, por estar siempre ahí.

A José Víctor, por darme la seguridad y la confianza que solo el amor puede aportar. Gracias por tu apoyo incondicional.

A Emilia y Carmen, gracias por vuestra ayuda y comprensión. Habéis sido el estímulo necesario para elaborar y finalizar este trabajo, así como para seguir siempre adelante con una sonrisa e ilusión. Gracias por ser como sois.

"¡Oh, noche que guiaste! ¡Oh, noche amable más que alborada! ¡Oh, noche que juntaste Amado con amada, amada en el Amado transformada!". San Juan de la Cruz (1542-1591).

ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES

DEDICATORIA

RESUMEN. ABSTRACT

PALABRAS CLAVE. KEYWORDS

AGRADECIMIENTOS

INTRODUCCIÓN **29**

I. LA EFICIENCIA Y LAS METODOLOGÍAS PARA SU MEDICIÓN **39**

1.1. CONCEPTO Y MEDIDA DE LA EFICIENCIA 41

1.1.1. Inicios en la medición de la eficiencia 43

1.1.1.1. *Eficiencia Debrau- Farrell versus eficiencia Koopmans* 48

1.1.2. Especificación de la medida de la eficiencia técnica 54

1.1.2.1. *Medidas radiales y no radiales* 54

1.1.2.2. *Orientación de la medida de eficiencia* 55

1.1.2.3. *Rendimientos a escala* 58

1.1.2.4. *Métodos frontera o no frontera* 59

1.2. METODOLOGÍAS PARAMÉTRICAS 62

1.2.1. Modelos con enfoque determinista 63

1.2.2. Modelos con enfoque estocástico 65

1.3. METODOLOGÍAS NO PARAMÉTRICAS 66

1.3.1. Estimación mediante DEA 67

1.3.2. Estimación mediante FDH 72

1.3.3. Testando la estructura subyacente en los modelos no paramétricos 74

II. EL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS **81**

2.1. METODOLOGÍA DEA 82

2.1.1. DEA bajo rendimientos variables a escala 88

2.2. PROPIEDADES ESTADÍSTICAS DEL ESTIMADOR DEA 92

2.2.1. Consistencia 92

2.2.2. Distribución muestral en el límitet 96

2.2.3. Técnicas bootstrap 98

2.3. MODELOS DEA ALTERNATIVOS 103
2.3.1. Modelo aditivo 103
2.3.2. Modelos basados en holguras 104
2.3.3. Modelo multiplicativo 105
2.3.4. Modelos multinivel 106
2.3.5. Modelos que imponen restricciones en los multiplicadores 106
2.3.6. Modificaciones para adaptarse a variables de distinta naturaleza 107
2.3.7. Variación de los datos 108
2.3.8. Estocásticos 108
2.3.9. Modelos de frontera parcial 109

III. TRATAMIENTO DE LOS FACTORES EXÓGENOS AMBIENTALES EN DEA 115

3.1. TIPOS DE VARIABLES A CONSIDERAR 116
3.2. ENFOQUE DE UNA ETAPA 117
3.3. ENFOQUE DE DOS ETAPAS 120
3.3.1. Modelo de dos etapas semiparamétrico de Simar y Wilson 123
3.4. ENFOQUE CONDICIONAL 127
3.4.1. Formulación probabilística del proceso de producción 128
3.4.2. Medida de eficiencia condicional 129

IV. MARCO PARA EL ANÁLISIS 135

4.1. LA EFICIENCIA EN EL SECTOR PÚBLICO 135
4.2. LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA ADMINISTRACIÓN LOCAL 138
4.3. OBJETIVOS DEL ANÁLISIS 153
4.4. METODOLOGÍA 154
4.4.1. Tratamiento de los valores atípicos o extremos 160

V. DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA EN EL SERVICIO MUNICIPAL DE ALUMBRADO PÚBLICO 165

5.1. ANTECEDENTES EN LA LITERATURA 165
5.2. DATOS Y SELECCIÓN DE VARIABLES 168
5.2.1. Indicadores inputs y outputs seleccionados para el análisis del servicio de alumbrado público 168
5.2.2. Factores explicativos seleccionados para el servicio de alumbrado público 170
5.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS EMPÍRICO 176
5.3.1. Depuración de los datos 177
5.3.2. Índices de eficiencia DEA 183
5.3.2.1. *Test de escala* 187
5.3.2.2. *Corrección del sesgo* 189
5.3.2.3. *Medidas SBM de Tone* 193
5.3.3. Análisis de determinantes 195
5.3.3.1. *Aplicación del Algoritmo-II de Simar y Wilson para alumbrado público* 195
5.3.3.2. *Supuesto de separabilidad* 205
5.3.3.2.1. Test de Kolmorov-Smirnov de dos muestras 207
5.3.3.2.2. Test de Mann Whitney 209
5.3.3.2.3. Bootstrap para el test Kolmorov-Smirnov de dos muestras 211

VI. DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA EN LA PROVISIÓN DEL SERVICIO MUNICIPAL DE PARQUES Y JARDINES 217

6.1. ANTECEDENTES EN LA LITERATURA 219
6.2. DATOS Y SELECCIÓN DE VARIABLES 220
6.2.1. Indicadores inputs y outputs seleccionados para el análisis del servicio de parques y jardines……..... 220
6.2.2. Factores explicativos seleccionados para el servio de parques y jardines 221
6.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS EMPÍRICO 228
6.3.1. Depuración de los datos 230
6.3.2. Índices de eficiencia DEA 238
6.3.2.1. Test de escala 241
6.3.2.2. Corrección del sesgo 243
6.3.2.3. Factores explicativos seleccionados para el servicio de alumbrado público 245
6.3.3. ANÁLISIS DE DETERMINANTES 248
6.3.3.1. Algoritmo II Simar y Wilson para parques y jardines 248
6.3.3.2. Condición de separabilidad 255

CONCLUSIONES 263

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 271

ANEXOS 317

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metodologías fronteras para la medición de la eficiencia 62
Tabla 2. Estimadores DEA de orientación input 91
Tabla 3. Servicios mínimos en base a la población del municipio 153
Tabla 4. Test basado en el estadístico 48 Simar y Wilson 157
Tabla 5. Selección de variables para el servicio de alumbrado público 177
Tabla 6. Valores atípicos en los datos de AP. Valores de $R_{Min}^{(i)}$ 179
Tabla 7. Coeficientes de orden m para AP orientación input 181
Tabla 8. Coeficientes de orden m. Orientación output (SA) 182
Tabla 9. Resumen estadístico para la selección de variables en AP 183
Tabla 10. Medidas de eficiencia DEA-CRS-VRS-NIRS para el servicio AP 184
Tabla 11. Índices de eficiencia para el servicio de AP 186
Tabla 12. Contraste-1 de hipótesis sobre el tipo de rendimiento para AP 188
Tabla 13. Contraste-2 de hipótesis sobre el tipo de rendimientos para AP 189
Tabla 14. Índices insesgados para el modelo DEA-VRS input para AP 191
Tabla 15. Índices de eficiencia SBM-VRS para AP 193
Tabla 16. Selección de municipios ineficientes bajo SBM-VRS para AP 194
Tabla 17. Coeficientes estimados de las variables ambientales en AP. Paso 2-Algoritmo-II SW 196
Tabla 18. Resultado primera etapa del análisis SW para alumbrado público 197
Tabla 19. Coeficientes estimados definitivos de las variables ambientales $\hat{\hat{\beta}}$ 198
Tabla 20. Coeficientes estimados de las variables ambientales en el segundo bootsatrap $\hat{\hat{\beta}}^{*}$ 199
Tabla 21. Resultados de la segunda etapa para AP. Algoritmo-II 200
Tabla 22. Coeficientes estimados condicionales y no condicionales para AP 206
Tabla 23. Estadísticos descriptivos muestras. AP 207

Tabla 24. Prueba Kolmorov-Smirnov en AP 209

Tabla 25. Tabla de rangos en la muestra global. AP..... 210

Tabla 26. Prueba de Mann-Whitney. AP..... 210

Tabla 27. Prueba bootstrap Kolmorov-Smirnov. AP..... 212

Tabla 28. Variables incorporadas en el análisis del servicio de parques y jardines……..... 229

Tabla 29. Valores atípicos en los datos de PJ. Valores de $R_{Min}^{(i)}$ 231

Tabla 30. Coeficientes orden-m de Simar (PJ). Orientación input..... 232

Tabla 31. Coeficientes orden-m de Simar (PJ). Orientación output 235

Tabla 32. Coeficientes-m input y output posibles outliers en PJ 236

Tabla 33. Resumen estadístico de las variables seleccionadas en el servicio de PJ……..... 237

Tabla 34. Índices de eficiencia DEA-CRS-VRS-NIRS para PJ 239

Tabla 35. Resumen Índices de eficiencia para el servicio de PJ 240

Tabla 36. Contraste-1 de hipótesis sobre el tipo de rendimientos..... 242

Tabla 37. Contraste-2 de hipótesis sobre el tipo de rendimientos..... 243

Tabla 38. Índices corregidos para el modelo DEA-VRS input para PJ 244

Tabla 39. Índices de eficiencia SBM-VRS para PJ 246

Tabla 40. Selección de municipios ineficientes bajo SBM-VRS..... 247

Tabla 41. Comparación modelos DEA para PJ..... 247

Tabla 42. Resultados primera etapa del análisis SW para parques y jardines..... 249

Tabla 43. Resultados de la segunda etapa para PJ. Algoritmo-II 250

Tabla 44. Coeficientes estimados condicionales y no condicionales para PJ..... 256

Tabla 45. Estadísticos descriptivos muestras. PJ..... 257

Tabla 46. Prueba Kolmorov-Smirnov en PJ 258

Tabla 47. Tabla de rangos en la muestra global. PJ 258

Tabla 48. Prueba de Mann-Whitney. PJ 259

Tabla 49. Prueba bootstrap Kolmorov-Smirnov. PJ 259

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del gasto público en España por niveles de gobierno 2022 31
Figura 2. Componentes del rendimiento de una unidad de decisión 39
Figura 3. Eficiencia económica: técnica y asignativa (orientación hacia los inputs) 45
Figura 4. Eficiencia técnica y asignativa (orientación output) 47
Figura 5. Medidas de la eficiencia técnica. Orientación hacia inputs 51
Figura 6. Medidas de la eficiencia técnica. Orientación hacia outputs 51
Figura 7. Orientación de la medida de eficiencia técnica 57
Figura 8. Fronteras de producción paramétricas determinísticas 65
Figura 9. Variantes DEA en base a la orientación y a los rendimientos a escala ... 69
Figura 10. Representación gráfica de la frontera Free Disposal Hull (FDH) 72
Figura 11. Representación gráfica DEA-CCR, DEA-BCC y FDH 74
Figura 12. Frontera DEA-CCR y DEA-BCC. Eficiencia de escala 90
Figura 13. Diagrama bootstrap 99
Figura 14. Análisis de valores atípicos para AP. Log-ratio 178
Figura 15. Análisis de valores atípicos para PJ. Log-ratio 230
Figura 16. Porcentaje de municipios fuera de la frontera de orden-m. PJ 233
Figura 17. Porcentaje de municipios fuera de la frontera de orden-m. PJ 234

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Estudios sobre la eficiencia técnica y coste 317

Anexo 2. Estudios sobre la eficiencia y sus determinantes en el servicio de alumbrado público 369

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el creciente interés por evaluar el rendimiento de las administraciones públicas con el objetivo de mejorarlo se ha visto reforzado por las medidas y ajustes que han debido llevar a cabo los gobiernos centrales y locales.

La última crisis financiera puso de manifiesto la necesidad de que las distintas actividades económicas se desarrollasen siguiendo los criterios de eficiencia y transparencia. La presión sobre los presupuestos públicos, la imposibilidad de incrementar los ingresos por los canales habituales (en el caso de lo público, vía impuestos), hace necesario reducir costes sin mermar la calidad, garantizando la sostenibilidad financiera de la actividad a través de una gestión más eficiente. Asimismo, el entorno y la sensibilidad de la sociedad actual exigen la sostenibilidad ambiental de dichas actividades. La optimización de los recursos no solo reduce los costes operativos, sino que también contribuye a minimizar el impacto ambiental. Todos los sectores se ven afectados por estas dimensiones que caracterizan al entorno actual; por ello, el sector público también debe regirse por estos requisitos de eficiencia y sostenibilidad, cruciales para su viabilidad futura.

En España, la reforma de las administraciones públicas (central, autonómica y local) iniciada en 2012 con la Ley 2/2012 de Estabilidad Presupuestaria y Sostenibilidad Financiera perseguía el objetivo de dotar de eficiencia a las mismas, lo que permite ofrecer mejores servicios a los ciudadanos. La reforma establece medidas de eficiencia, empleo público y reorganización orgánica con la finalidad de transformar la Administración y mejorar la eficiencia, la eficacia y la calidad, dado que las administraciones públicas se sufragan con los impuestos procedentes de las empresas y ciudadanos. La gestión eficiente de esos recursos es una responsabilidad ineludible.

A finales de 2023, España presentaba un déficit público del 3,6 % del PIB, superior al límite establecido para los Estados miembros de la Unión Europea (UE) e imprescindible para asegurar la calidad y sostenibilidad de las finanzas públicas. Durante este periodo, la deuda superó el límite del 60 % establecido en más de 48,9 pp, manteniéndose por encima del ya elevado nivel de 2019, previo a la pandemia,

en 10,7 pp hasta situarse en un 109 % del PIB al final del primer trimestre de 2024[1]. Este elevadísimo porcentaje de deuda pública supone un importante reto para la economía.

Durante los años de crisis financiera (2008-2014), el gasto público llegó a alcanzar el 49,5 % del PIB en 2012. Años después, en 2020, durante la situación de emergencia sanitaria, llegó a representar un 51,9 % del PIB. El último dato disponible, 2023, lo sitúa en el 46,4%. Por otro lado, los ingresos públicos muestran desde 1995 una caída situándose en 2009 en 35% del PIB hasta que, a partir del 2012, se estabilizan en torno al 39% del PIB de media, apreciándose desde 2021 un ligero ascenso, que los situá a finales de 2023 en el 42,8% del PIB por debajo, 3,6 pp, de la media de la zona euro (ZE) y de la UE que se sitúa en el 45,9% del PIB[2]. Al analizar la serie histórica, se puede observar cómo los ingresos cayeron durante la crisis financiera, mostrando, desde 2008, un incremento de la presión fiscal. Estas magnitudes muestran la importancia del sector público en la economía y la necesidad de usar los recursos de forma racional ante la dificultad de incrementarlos. El escenario expuesto supone una ventaja para una mayor investigación que permita aportar herramientas con las que afrontar este reto y asegurar una administración más eficiente, lo que permitiría mejorar la confianza en las instituciones, los gobiernos y en la calidad y provisión de los servicios públicos.

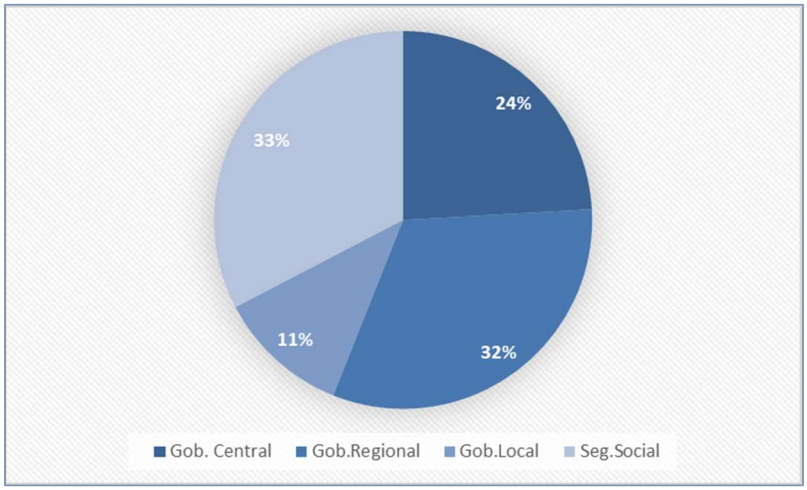
Según la OCDE (2014, 2023a), la estructura del gasto público en nuestro país es una de las más descentralizadas, ya que las comunidades autónomas y los entes locales manejan un alto porcentaje del gasto público (ver Figura 1). Este hecho revela la importancia de una gestión eficiente en los municipios o entidades locales. Por este motivo, este trabajo selecciona como unidad de investigación los municipios españoles que manejan el 11,3 % del gasto público total y que se presentan como los entes más cercanos a los ciudadanos, por lo que deben ser

[1]Datos consultados en Eurostat (agosto2024): https://ec.europa.eu/eurostat/web/government-finance-statistics/database/summary-tables y banco de España (2024) https://www.bde.es/f/webbe/GAP/Secciones/SalaPrensa/NotasInformativas/24/presbe2024-45.pdf

[2] Datos procedentes de (consultado en agosto de 2024):
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Government_finance_statistics

aquellos que mejor puedan satisfacer sus necesidades y demandas de manera más eficiente.

Figura 1. Distribución del gasto público en España por niveles de gobierno 2022



Fuente: a partir de OCDE (2023b)

En este contexto, el objetivo no es simplemente gastar menos, sino gastar mejor, evitando el despilfarro de recursos a través de un empleo ineficiente de los mismos. La capacidad de cuantificar y evaluar la eficiencia proporciona a los agentes económicos y políticos un mecanismo de control que les permite vigilar el rendimiento de las unidades de decisión, identificar las fuentes de eficiencia y, a partir de ello, definir políticas o planes de acción (Lovell, 1993).

En el ámbito económico, Farrell (1957, p. 254) definió la eficiencia como «el éxito de una unidad de producción en producir tantos productos finales como le sea posible dados unos inputs». Estas unidades productivas o DMUs (Unidad de Toma de Decisiones) se refieren a cualquier entidad que se va a evaluar y que transforma recursos (inputs) en productos (outputs). Lo que se evalúa es su capacidad o habilidad para realizar la conversión de inputs en outputs, normalmente, en comparación con el resto de unidades. En nuestro caso, las unidades analizadas serán los municipios.

La evaluación de la eficiencia en el ámbito público ha encontrado un aliado en el Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés), desarrollado en 1978 por Charnes, Cooper y Rhodes a partir de las ideas expuestas en Farrell (1957).

Esta metodología, como se verá, presenta diferentes ventajas en contextos donde no existe una medida del rendimiento de la unidad operativa, ya que no es necesario establecer a priori una forma funcional para la tecnología ni realizar supuestos sobre la distribución de los términos aleatorios. Además, es aplicable con múltiples inputs y outputs y suministra información relevante sobre unidades eficientes con similar combinación de inputs y outputs que pueden tomarse como referentes (peer) por parte de las unidades ineficientes. A pesar de sus múltiples ventajas, también presenta alguna desventaja, principalmente asociada a la sensibilidad del ruido estadístico y a los errores de medida, y a la dificultad de realizar inferencia estadística. Desde su introducción, un número incontable de aplicaciones empíricas en la industria de servicios, especialmente en la banca, el transporte y la atención médica, ha generado comparaciones sólidas entre las diferentes unidades de decisión (ver encuestas recientes en el campo de Daraio et al., 2020; Emrouznejad y Yang, 2018; y Liu et al. 2013) con numerosas herramientas para realizar evaluaciones (Daraio et al., 2019). Sin embargo, esta investigación se centra en intentar evaluar cómo variables externas al control de la administración local influyen el nivel de eficiencia alcanzado. Identificar y comprender las causas que están generando deficiencias operativas permitirá optimizar recursos, mejorar servicios e infraestructuras esenciales para la calidad de vida de los ciudadanos, implementar políticas más eficientes y sostenibles, así como establecer estrategias de gestión pública más efectivas, favoreciendo la transparencia y responsabilidad de los gobiernos locales. Esto contribuirá a llevar a cabo un análisis integral de la eficiencia gubernamental local.

El objetivo central de esta investigación es analizar los determinantes de los niveles de (in)eficiencia alcanzados durante el año más reciente para el cual se dispone de datos completos (la recogida de datos se realizó durante 2022) por los municipios españoles de entre 1.000 y 50.000 habitantes en la prestación de dos servicios esenciales: el alumbrado público y los parques y jardines. Si bien se estima el nivel de eficiencia técnica, es principalmente con la finalidad de descubrir si las diferencias encontradas pueden ser explicadas por una serie de factores exógenos ambientales o del entorno.

La selección de esos dos servicios se justifica por la importancia que han adquirido en los últimos años, siendo de gran interés la introducción de mejoras en

su gestión. Ambos son servicios críticos para las comunidades, si se consideran aspectos como la seguridad, la salud, el bienestar y el impacto ambiental.

Así, el servicio de alumbrado público es un servicio esencial en todos los municipios, tanto por cuestiones de seguridad ciudadana como por el hecho de permitir el desarrollo con normalidad de actividades que se realizan en horario nocturno, como la prestación de otros servicios públicos, por ejemplo, el servicio de recogida de basuras, así como otras actividades desarrolladas por los ciudadanos (deporte, ocio, actividades económicas, etc.).

En cuanto al servicio de jardines, en los últimos años las autoridades municipales españolas han destinado importantes cantidades de recursos a financiar la construcción y el mantenimiento de instalaciones.

En consecuencia, el análisis de estos dos servicios municipales supone una parte importante del presupuesto municipal. Dada la situación coyuntural que se vive actualmente, es fundamental hacer un uso eficiente de los escasos recursos disponibles para proveer adecuadamente los servicios públicos. El análisis de los factores que favorecen o perjudican a esta es una información estratégica para la toma de decisiones que permita mejorar o seguir ofreciendo un servicio público de calidad. Teniendo en cuenta lo señalado y el tipo de unidades que se van a evaluar, este trabajo podría contribuir a mejorar el servicio mediante el uso óptimo de los recursos disponibles. También podría ser útil en el proceso de toma de decisiones frente a un análisis de eficiencia convencional, que no cubre los objetivos buscados.

Para alcanzar el objetivo propuesto, se explorará un procedimiento de estimación de dos etapas en el que se valorará la eficiencia de las entidades locales en la provisión de los servicios públicos señalados. Esta investigación se basa en dos fuentes: la estimación de las puntuaciones de eficiencia y el análisis de regresión de los determinantes de la eficiencia.

En la primera etapa, la eficiencia técnica se estima mediante DEA y los resultados de las estimaciones de eficiencia se regresan sobre una serie de factores ambientales en una segunda etapa.

En la segunda etapa, se procederá a investigar las causas o determinantes de la ineficiencia mediante la consideración de diversos factores exógenos que reflejarán el entorno operativo en el que los gobiernos locales desempeñan su labor. La significancia estadística de este grupo de factores, una vez analizado, permitirá

dilucidar si parte del desempeño presentado por los municipios estudiados se debe al entorno.

Este enfoque de dos etapas se llevará a cabo según los requisitos establecidos en el modelo de doble bootstrap desarrollado por Simar y Wilson (2007), que se basa en una regresión truncada para estimar el efecto de un conjunto de factores ambientales sobre las estimaciones DEA insesgadas. Además, se comprobará la condición de separabilidad para dotar de rigor y validez a los resultados obtenidos.

Con esa finalidad, el trabajo se estructura en seis capítulos, cuyo propósito se detalla a continuación.

Los tres primeros capítulos tratan de sentar las bases conceptuales y metodológicas en las que se apoya esta investigación. En concreto, en el capítulo uno se delimita el concepto de eficiencia económica y el de eficiencia técnica sobre el que gira la investigación. Tras la conceptualización del término que se va a analizar, se presentan las diferentes aproximaciones metodológicas que pueden utilizarse para medirlo, identificando las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas y su adecuación para el propósito empírico que se va a desarrollar.

En el segundo capítulo, la atención se centra en el Análisis Envolvente de Datos (DEA), exponiendo las formulaciones básicas y sus características fundamentales. Esta metodología supera la parcialidad de otros indicadores de gestión al hacer posible considerar las distintas funciones que caracterizan las áreas que se van a analizar. La elección del DEA como base metodológica se debe a su flexibilidad para adaptarse a las características especiales de las unidades operativas del sector público y a su capacidad para incorporar en el análisis factores exógenos ambientales de un modo no restrictivo.

Simar y Wilson (2000b, p. 779) apuntan que «Dadas las observaciones resultantes de algún proceso generador de datos, las propiedades estadísticas de las medidas de eficiencia estimadas son esenciales para su interpretación. Así, en un contexto de múltiples entradas y salidas, el bootstrapping parece el único método para inferir esas propiedades (es decir, estimar el sesgo y la varianza, y construir intervalos de confianza)». Por este motivo, antes de concluir el capítulo, se detallan las propiedades estadísticas de los estimadores DEA y se muestra el gran avance que, en este sentido, se ha hecho en los últimos años, dónde se revela la importancia de las técnicas bootstrap en este propósito.

Seguidamente, se exponen brevemente algunas de sus principales extensiones que, desde la aparición del DEA en 1978, se han desarrollado con la intención de superar limitaciones o ampliar su utilidad en determinados ámbitos.

El objetivo del tercer capítulo es presentar teóricamente el tratamiento de los factores exógenos ambientales en el DEA, exponer las principales opciones desarrolladas y analizar en profundidad la que se aplicará en el estudio empírico.

En el cuarto capítulo, se pretende caracterizar el marco para el diseño del modelo y el análisis empírico. En él se recogen los principales modelos de gestión que han contribuido a la búsqueda de eficiencia en el sector público y se profundiza en la revisión de la literatura sobre la medida y la exploración de los determinantes de la eficiencia en el sector de las administraciones públicas locales. Una vez analizados los estudios más relevantes, se especifican los objetivos generales y específicos de la investigación empírica. Por último, se detalla el procedimiento metodológico seguido en la investigación.

En los capítulos cinco y seis se presentan las dos aplicaciones empíricas realizadas para los servicios públicos municipales de alumbrado público y jardines, respectivamente. En ellos se pretende analizar en profundidad los determinantes de la eficiencia; así, tras revisar los antecedentes bibliográficos, se definen las variables seleccionadas como indicadores de inputs, outputs y factores explicativos. Los datos de las distintas variables se han obtenido de diferentes fuentes de información, a partir de las cuales se ha construido una amplia base de datos propia que constituye un importante activo de la investigación. En la presentación, interpretación y discusión de los resultados se evaluará el poder explicativo de los diferentes factores ambientales considerados.

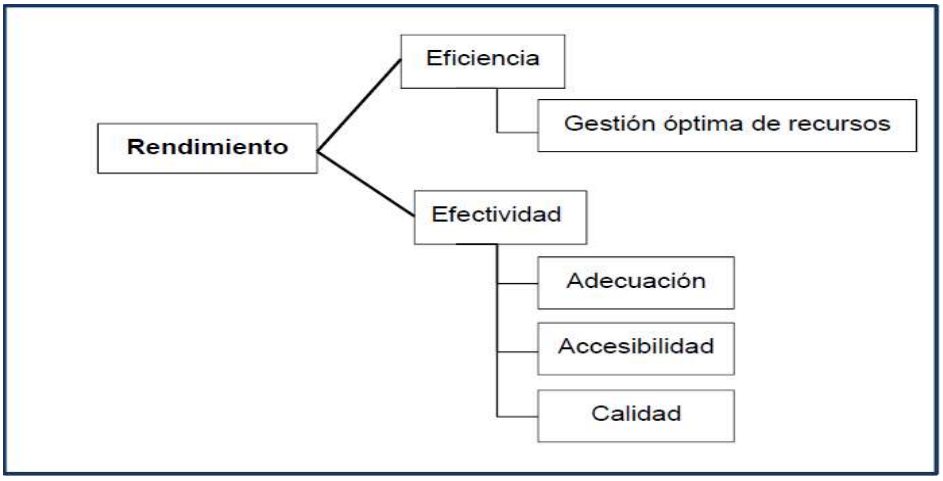
Por último, se presenta una sección que recapitula las conclusiones y propone líneas de investigación futuras.

I – LA EFICIENCIA Y LAS METODOLOGÍAS PARA SU MEDICIÓN

I- LA EFICIENCIA Y LAS METODOLOGÍAS PARA SU MEDICIÓN

Parece adecuado comenzar delimitando el concepto de eficiencia diferenciándolo de otros conceptos que erróneamente se utilizan como homólogos. A la hora de evaluar el rendimiento de las unidades de producción en el desempeño de sus funciones son varias las características que se pretenden que estas alcancen: eficiencia, efectividad, eficacia, productividad y competitividad. Además, en el ámbito público que es el que nos ocupa, la propia Constitución (art.31.2 y 103.1) exige principios de economía, eficiencia y eficacia en la actuación de la administración pública. El hecho de que estas características sean, en principio, deseables hace que se utilicen en ocasiones como sinónimos (Álvarez, 2001).

Figura 2. Componentes del rendimiento de una unidad de decisión



Fuente: a partir de Worthington y Dollery (2000a)

Siguiendo a Worthington y Dollery (2000a), el rendimiento global de una organización puede dividirse en dos componentes: la eficiencia, que refleja la forma en que la organización emplea los recursos disponibles para producir servicios, y la efectividad, que refleja el grado de consecución de sus programas y objetivos políticos. A su vez, como se observa en la figura 2, la efectividad conlleva la

consecución de tres cualidades que es deseable identificar en los resultados: (a) adecuación, adaptar el servicio a las necesidades de los clientes; (b) accesibilidad, que incluye aspectos como la asequibilidad o la accesibilidad física, y (c) calidad, que hace referencia al cumplimiento de los estándares requeridos o a la incidencia de fallos en el servicio.

Se comprueba que la eficiencia sí hace referencia directa al proceso productivo, mientras que la efectividad se enfoca más en los resultados.

La eficacia se define como la capacidad de la unidad para establecer y alcanzar objetivos (Cooper et al., 1999b). Otros autores limitan este concepto, distinguiéndolo del de efectividad, a la medida del impacto de su desempeño en la comunidad. Por tanto, no contempla la utilización óptima de los recursos, sino que persigue la concordancia entre las metas u objetivos propuestos y alcanzados con independencia de la cantidad de recursos necesarios para conseguirlo. Este concepto está más próximo al de efectividad que al de eficiencia, pues su logro es independiente de los recursos utilizados.

En cuanto al término competitividad, normalmente se ha supuesto que la eficiencia productiva es fundamental en entornos competitivos, pero su importancia disminuye si desaparece la presión competitiva. Es decir, la presencia de competidores fomenta la búsqueda de eficiencia (Porter, 1990). La eficiencia proporciona a la unidad organizativa la capacidad de competir desde una posición más ventajosa (Bueno y Morcillo, 1993). Desde este punto de vista, el concepto de competencia engloba al de eficiencia (Álvarez, 2001). Sin embargo, el hecho de que una unidad sea eficiente no garantiza que sea competitiva, ni viceversa. En este sentido, se puede decir que una unidad organizativa que posee una ventaja competitiva en costes posee eficiencia productiva (maximiza su producto dados unos recursos), pero esta por sí sola no supone que la unidad sea competitiva, pues para ello, la unidad aún debe vender su output a un precio que logre atraer al cliente potencial y que supere el de otras unidades organizativas. De la misma manera, una unidad organizativa que base su estrategia competitiva en otras ventajas puede conseguir ser competitiva, pero no eficiente (derrocha recursos). En consecuencia, la idea de asociar eficiencia a competitividad ha relajado el comportamiento eficiente de las unidades que operan en entornos poco o nada competitivos, como es el caso que nos ocupa, los municipios.

Habitualmente, el término «productividad» ha sido el que más ha confundido con el concepto de «eficiencia». La productividad de una unidad productiva también mide el aprovechamiento de los recursos y se define como un índice de productos dividido por un índice de insumos (Lovell, 1993), que varía debido a cambios en la tecnología de producción, diferencias en la eficiencia del proceso productivo y diferencias en el entorno en el que opera (Fried et al., 2008a). En consecuencia, el concepto de productividad engloba al de eficiencia, siendo este uno de sus componentes.

Dado que el concepto principal de esta investigación es el de eficiencia, nos centraremos exclusivamente en él.

El desarrollo de este capítulo no persigue un análisis exhaustivo de los conceptos tratados, sino introducir los conceptos y metodologías básicas en los que se apoya esta investigación. Para ello, en el siguiente epígrafe se concreta la definición de eficiencia técnica. Asimismo, se realizará una breve revisión de diferentes técnicas de medida que han ido surgiendo desde los primeros esfuerzos realizados por Koopmans (1951), Debrau (1951) y Farrell (1957), prestando especial atención al análisis envolvente de datos, dada su mayor aplicación en el sector público y por ser la base de la metodología que aquí se desarrolla.

1.1. CONCEPTO Y MEDIDA DE LA EFICIENCIA

El diccionario de la Real Academia Española nos dice que la eficiencia es "la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado"; siguiendo esta definición no formal[3] parece deseable para un comportamiento eficiente utilizar los medios de que se dispone de tal forma que se obtenga el objetivo perseguido. En la literatura económica se pueden encontrar diferentes definiciones del concepto de eficiencia. Así, la IGAE (1997, p. 125) la define "como el grado de optimización del resultado obtenido en relación con los recursos empleados". Asimismo, la Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas (AECA, 1997, p. 25) señala que la eficiencia es "la relación existente entre los bienes y servicios consumidos y los bienes y servicios producidos; o lo que es lo mismo, por los servicios prestados (outputs) en relación con los recursos

[3] Desde el punto de vista económico.

empleados a tal efecto (input)". La National Audit Office la interpreta como "la utilización de la mínima cantidad de recursos en la producción o desarrollo de la apropiada cantidad y calidad de bienes o servicios en tiempo conveniente" (Lowe, 1999, p. 12). Por su parte, Cooper et al. (2007) la conciben como el desempeño óptimo con relación al cociente input-output.

A partir de las definiciones propuestas se entiende, entonces, que eficiencia es el uso de los recursos disponibles de la mejor manera posible para obtener el máximo resultado. Es decir, una unidad productiva se comporta de manera eficiente si con los recursos de que disponga obtiene el máximo nivel de producción posible o, equivalentemente, si para alcanzar un nivel de producción determinado consume el mínimo de recursos posible.

Conceptualmente desde la perspectiva de la teoría económica la idea de eficiencia se asocia al comportamiento óptimo de la organización, es decir, a la optimización del binomio input-output consiguiendo la obtención de unos resultados en comparación con los recursos empleados. Se dirá que una asignación de recursos es óptima (eficiente) cuando lo es en el sentido de Pareto. Una asignación es Pareto eficiente cuando no existe otra asignación alternativa que mejore la satisfacción de un agente sin perjudicar a otro; en consecuencia, reasignar los recursos disponibles de tal forma que mejore la situación de una unidad productiva sin perjudicar a otra. Se trata, por tanto, de un concepto relativo donde la eficiencia de una unidad se mide en relación a la actuación de otras unidades homogéneas.

A la hora de estudiar la eficiencia los autores han definido varias dimensiones dentro del concepto de eficiencia productiva que pueden ser consideradas. Färe et al. (1985) diferencian tres tipos de eficiencia productiva: técnica, cuando la empresa obtiene el máximo output posible con la combinación de inputs empleada; estructural, cuando un productor técnicamente eficiente además opera en una zona no congestionada de la frontera de posibilidades de producción (suele ser asumido que la ineficiencia estructural solo tiene lugar si no existe libre disponibilidad de algún subvector de factores y productos); y asignativa, que depende de los precios de los factores y de los objetivos específicos de la unidad productiva. Se entiende que un productor será totalmente eficiente "si, y solo si, el productor es técnica, estructural y asignativamente eficiente". Considerando ambas, eficiencia técnica y asignativa, se determina el grado de eficiencia económica. Una unidad se evaluará

como económicamente eficiente si utiliza los recursos técnica y asignativamente de forma eficiente.

Fue Farrell (1957) quien distinguió por primera vez esos dos componentes dentro de la eficiencia económica: el técnico, que hace referencia a la capacidad para evitar el despilfarro de recursos usando la tecnología disponible, y la asignativa, que teniendo en cuenta los precios y productividades marginales determina la capacidad de los productores para combinar los inputs y los outputs del modo más adecuado. Este trabajo se centrará en la eficiencia técnica, las otras dimensiones quedan descartadas; la estructural al suponer libre disponibilidad de factores y la asignativa, debido a la ausencia de datos y desconocimiento de los precios en el ámbito que nos ocupa (el sector público).

Dentro del concepto de eficiencia técnica se puede distinguir a su vez, la eficiencia técnica pura (refleja el uso de los recursos productivos de la mejor manera tecnológicamente), y la eficiencia de escala, que hace referencia a situaciones donde una unidad está produciendo en una escala de tamaño óptima, tal que un mayor output reduce el coste unitario. Por tanto, principalmente son tres los componentes que se distinguen dentro de la eficiencia productiva: el técnico, el asignativo y el de escala (Färe et al., 1994).

Otras dimensiones han sido definidas dentro del concepto de eficiencia. Así, Worthington y Dollery (2000a) identifican en las aportaciones de los economistas otra dimensión a la que denominan eficiencia dinámica, y hace referencia al uso económicamente eficiente de recursos a lo largo del tiempo, por lo que abarca la eficiencia técnica y asignativa en una dimensión intertemporal. Stiglitz (2002) nos habla, además, de la eficiencia distributiva, que se alcanza cuando los resultados se distribuyen en la comunidad de tal forma que se maximiza el bienestar de la sociedad. Giménez y Prior (2007) proponen introducir nociones de eficiencia a corto y largo plazo. Éstas tienen un carácter menos preciso y quedan fuera del ámbito de esta investigación.

1.1.1. Inicios en la medición de la eficiencia

La primera consideración teórica de la eficiencia técnica fue hecha por Koopmans (1951) al ofrecer una definición y caracterización de la misma indicando que un productor es técnicamente eficiente si un incremento en algún output

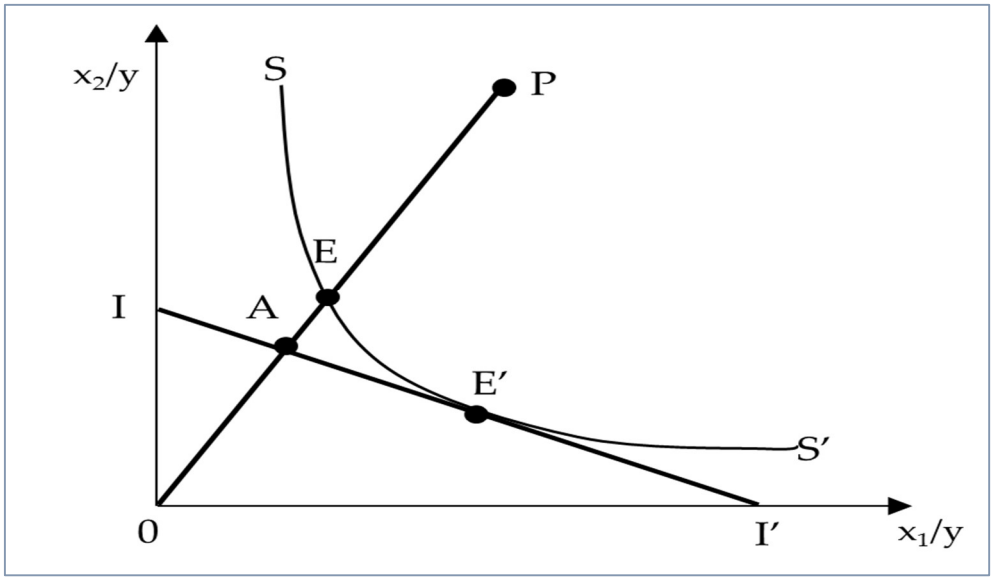
requiere una reducción en al menos algún otro output o un incremento en al menos un input, y si una reducción en algún input requiere un incremento en al menos algún otro input o una reducción en al menos un output. Así, un productor técnicamente ineficiente podría producir los mismos outputs con menos de al menos un input, o podría usar los mismos inputs para producir más de al menos un output.

Esta primera definición formal de la eficiencia técnica permite clasificar a los productores como eficientes o ineficientes, pero no cuantificar el grado de ineficiencia (Färe et al., 1994). Sería Debrau (1951) el primero en desarrollar una medida o índice del grado de eficiencia con su "coeficiente de utilización de recursos", que relaciona el nivel óptimo de inputs con el utilizado realmente, y se calcula como uno menos la máxima reducción equiproporcional en todos los inputs consistente con el nivel de producción existente. Con posterioridad Farrell (1957) desarrolla un índice de eficiencia técnica, definido como la máxima reducción equiproporcional en todos los inputs consistente con producciones equivalentes de outputs observadas. Una puntuación del índice igual a la unidad implica que la unidad productiva es técnicamente eficiente pues no es posible reducir equiproporcionalmente todos los inputs. Mientras que si el índice es inferior a la unidad refleja la proporción en que pueden ser reducidos los inputs utilizados.

El método de Farrell se basaba en un conjunto de posibilidades de producción que constituyen el cono formado por los vectores de input-outputs (Ali y Seiford, 1993). De esta forma, partiendo del supuesto de una unidad organizativa que opera con rendimientos constantes[4] a escala y que utiliza dos factores/inputs, x_1 y x_2, en su proceso productivo para obtener un único producto/output y. La función de producción se supone conocida $y = f(x_1, x_2)$ y representada por la isocuanta SS' (ver Figura 3), ofrece las distintas combinaciones de recursos (x_1, x_2) eficientes para producir un determinado nivel de output y.

[4] Tienen lugar cuando la relación entre el output y y los inputs (x_1, x_2) no cambia cuando los inputs se incrementan. Farrell y Fieldhouse extienden en 1962 el trabajo inicial de Farrell relajando el supuesto de rendimientos constantes a escala y sugirieren la programación lineal como herramienta para medir la eficiencia. Boles (1971) lo amplió para rendimientos variables a escala.

Figura 3. Eficiencia económica: técnica y asignativa (orientación hacia los inputs)



Fuente: a partir de Farrell (1957)

En el caso de que la frontera de producción eficiente se desconozca, lo que impediría la medición de la eficiencia, Farrell propone un método para estimar la isocuanta a partir de las unidades evaluadas. Para realizar esta aproximación estableció dos hipótesis que debía cumplir la función de producción a estimar: convexidad, si dos puntos son factibles su combinación lineal convexa también lo es, y pendiente no positiva, garantizando que los incrementos en inputs utilizados no conllevan reducción en outputs.

Siguiendo el argumento de Farrell (1957) en la Figura 3 se puede ver gráficamente la distinción de los dos componentes de la eficiencia económica.

Se observa que la isocuanta SS' permite medir la eficiencia técnica, asociando las cantidades mínimas de cada factor para producir una unidad de output. Esas combinaciones serán las consideradas por Farrell técnicamente eficientes. Los puntos situados por encima de la isocuanta serán considerados ineficientes, ya que existe derroche de factores productivos.

Si se toma una unidad productiva definida por el punto P que utiliza una combinación de inputs (x_{1P}, x_{2P}) para producir una unidad de output y, la unidad P es ineficiente ya que podría seguir produciendo una unidad de output consumiendo menos inputs, si se situase sobre la frontera SS', en el punto

proyectado E, técnicamente eficiente. La eficiencia técnica de P se medirá por el índice[5] OE/OP, dando 1-OE/OP la medida de ineficiencia (distancia EP) o proporción en que los recursos pueden reducirse proporcionalmente sin modificarse el nivel de output. Se observa que la medida de eficiencia técnica detecta la ineficiencia a lo largo del radiovector que sale del origen y que recoge todas las unidades que utilizan los factores en la misma proporción.

Por consiguiente, la unidad E será considerada técnicamente eficiente, se sitúa sobre la isocuanta, por lo que su índice de eficiencia es igual a la unidad (OE/OE=1), es decir, no existe otra unidad que consuma una combinación de recursos menor y siga produciendo la misma cantidad de output. Mientras que P es ineficiente técnicamente ya que existe otra combinación de recursos, E, que utiliza menos de ambos inputs para producir una unidad de output y se sitúa en el mismo radio vector que P.

Considerándose conocida la relación de precios de los inputs, dada por la isocoste II', se medirá la eficiencia asignativa como la capacidad de la unidad productiva de utilizar una combinación de inputs óptima dados sus precios, es decir, si se situara en la isocoste en el punto A. Para el punto P vendrá medida por el cociente OA/OP, y 1-OA/OP sería la ineficiencia asignativa que sufre el punto P, la cual se reduciría trasladándose a A. El punto E' sería técnica y asignativamente eficiente. Dado que, en el ámbito público, los precios de los factores productivos y de los outputs se desconocen es inviable la obtención de una medida de la eficiencia asignativa.

Está generalmente aceptado que la eficiencia económica o global se determina como el producto de la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa (Albi, 1992), e igual que las anteriores está comprendida entre cero y uno. Únicamente la unidad E' es económica o totalmente eficiente, su eficiencia económica sería igual a la unidad, puesto que tanto su eficiencia técnica como asignativa es uno. Mientras que la del punto P vendría dada por:

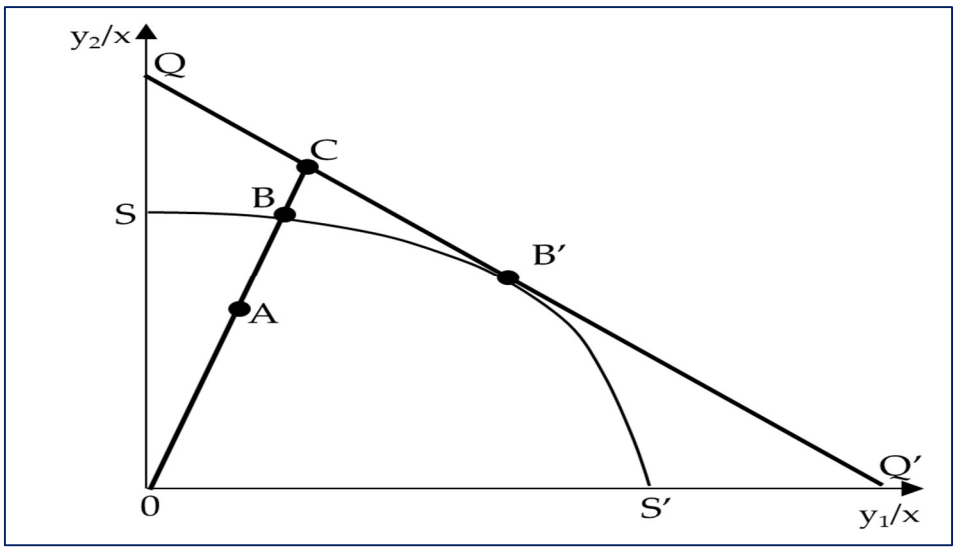
$$\textit{Eficiencia Económica}_{P} = (OE/OP) \times (OA/OE) = OA/OP$$

El análisis de la eficiencia técnica puede ser abordado desde una orientación hacia los inputs (la que se acaba de exponer), utilizando los mínimos inputs para

[5] El índice así entendido sólo puede tomar valores entre cero y uno.

conseguir una cantidad determinada de outputs, o hacia outputs, maximizando la producción dados unos inputs (Lovell, 1993). Así, apoyándonos en la Figura 4 se puede realizar el análisis desde una orientación hacia los outputs.

Figura 4. Eficiencia técnica y asignativa (orientación output)



Fuente: a partir de Coelli (1996)

En la Figura 4, A representaría el punto ineficiente (no se sitúa sobre la isoinput SS'), ya que se podría producir más manteniendo el nivel de recursos si se situase en el punto B (proyección a través del radio vector sobre SS'). La medida de la eficiencia técnica sería la ratio OA/OB. La ineficiencia vendría dada por la distancia AB, expresado en porcentaje sería 1- OA/OB, que representa la proporción en que la unidad podría aumentar su producción sin incrementar el nivel de recursos. Así mismo, conocida la relación de precios de los outputs dada por la línea QQ', se calculará la eficiencia asignativa como la ratio OB/OC, teniendo la distancia BC una interpretación en término de ingresos (Coelli, 1996), como el incremento que tendría lugar si la unidad se situase en el punto eficiente asignativamente (técnicamente) B'. El punto B' es económicamente eficiente y, de nuevo, se calcularía como el producto de la eficiencia técnica y asignativa.

Se comprueba, de la interpretación hecha en las Figuras 3 y 4, cómo para alcanzar la eficiencia se compara el valor de la unidad ineficiente con su proyección sobre la isocuanta eficiente siguiendo el radio vector que sale desde el origen. Por

tanto, como señala Lovell (1993) la eficiencia económica compara valores reales y observados de inputs y outputs con los valores óptimos de inputs y outputs. Consecuentemente, se obtiene una medida relativa de la eficiencia de cada unidad, comparando su comportamiento con las de otras unidades eficientes reales o una combinación lineal de las mismas.

A nivel microeconómico, esas combinaciones óptimas se representan en la función óptima o frontera, y dependiendo de los objetivos de la investigación y de la disponibilidad de información podrá ser la función de producción, la función de beneficios o la función de costes. En este caso, la medida empírica de la eficiencia técnica conllevará la estimación de fronteras de producción (Woodbury y Dollery, 2004) que al ser desconocida debe de calcularse o estimarse.

Estos índices de eficiencia Debrau-Farrell, aun siendo ampliamente inspirados por la definición de Koopmans, son menos restrictivos a la hora de considerar a una unidad eficiente. Así, una unidad productiva podría ser considerada eficiente según Debrau-Farrell y no según Koopmans, ya que como establecen Färe y Lovell (1978) pueden existir holguras (posibilidad de reducir algún input o incrementar un output) en alguno, aunque no en todos, de los inputs u outputs después de alcanzar la eficiencia Farrell. Por ello, la medida de Farrell no puede medir la eficiencia según Koopmans.

1.1.1.1. Eficiencia Debrau- Farrell versus eficiencia Koopmans

Färe y Lovell (1978) y Lovell (1993) proveen una explicación muy útil a la hora de relacionar la medida Debrau-Farrell y la definición de eficiencia de Koopmans con la estructura de la tecnología de producción, así como para identificar sus diferencias.

Con esa intención y atendiendo a Lovell (1993), considérese un proceso productivo donde se utiliza el vector de inputs $x = (x_1, \dots, x_p) \in \mathbb{R}_+^p$ para producir el vector de outputs $y = (y_1, \dots, y_q) \in \mathbb{R}_+^q$. La tecnología de producción o conjunto de posibilidades de producción (CCP) está formado por todos los procesos productivos factibles y, siguiendo una orientación hacia los inputs, puede ser representado por $\mathcal{X}(y)$, el cual define todas las combinaciones de inputs que generan al menos *y* unidades de producción,

$$\mathcal{X}(y) = \{x : (x, y) \text{ es factible}\} \tag{1.1}$$

que para cada $y \in \mathbb{R}_+^S$ tiene una isocuanta, frontera del CPP (describe el conjunto de inputs mínimos con los que se producen *y* unidades de output),

$$Isoq\chi(y) = \chi^{\partial}(y) = \{x : x \in \chi(y),\ \theta x \notin \chi(y),\ \theta \in [0,1)\} \quad (1.2)$$

y un subconjunto eficiente, formado exclusivamente por combinaciones eficientes, que representa las combinaciones mínimas de inputs con las que producir *y*, siendo imposible producir *y* si se reduce el consumo de algún input (Kumbhakar y Lovell, 2000),

$$Eff\chi(y) = \left\{ x : x \in \chi(y),\ x' \notin \chi(y),\ x' \leq x \right\} \quad (1.3)$$

Se comprueba que todo punto perteneciente al conjunto eficiente está incluido en la isocuanta, es decir, $Eff\chi(y) \subseteq Isoq\chi(y)$; sin embargo, no todos los puntos de la isocuanta necesariamente forman parte del subconjunto eficiente, $x \in Isoq\chi(y) \subset x \in Eff\chi(y)$.

El concepto de función distancia introducida por Shephard[6] (1953, 1970) permite ofrecer la medida de Debrau- Farrell de la eficiencia técnica orientada a input mediante una interpretación más formal para proveer una tecnología de producción multioutput:

$$D_I^{DF}(x,y) = \delta(x,y) = min\{\theta : \theta x \in \chi(y)\} \quad (1.4)$$

$\theta \in (0,1]$ y mide la distancia radial desde el vector input hasta la frontera de producción.

Siguiendo una argumentación orientada hacia los outputs se busca, dados unos inputs, cuál es el máximo incremento equiproporcional de los outputs. Las anteriores expresiones quedarían representadas del siguiente modo.

[6] La función distancia en inputs es definida por Shephard como: $D_I = max\{\theta : x/\theta \in \chi(y)\}$, claramente $D_I(x,y) \geq 1$, por lo que la expresión de la isocuanta quedaría representada: $Isoq\chi(y) = \{x : D_I(x,y) = 1\}$

El conjunto de posibilidades de producción formado por las combinaciones input-outputs observadas quedaría alternativamente representado:

$$P(x) = \{y : (x, y) \text{ es posible}\} \tag{1.5}$$

Siendo la expresión que recoge la forma funcional de la isocuanta, en una orientación hacia outputs, la siguiente:

$$IsoqP(x) = \{y : y \in P(x), \lambda y \notin P(x), \lambda \in (1, \infty)\} \tag{1.6}$$

Y el subconjunto eficiente:

$$EffP(x) = \{y : y \in P(x), y' \notin P(x), y' \geq y\} \tag{1.7}$$

que igualmente cumple la propiedad de que todas las combinaciones pertenecientes al mismo forman parte de la isocuanta, no necesariamente a la inversa.

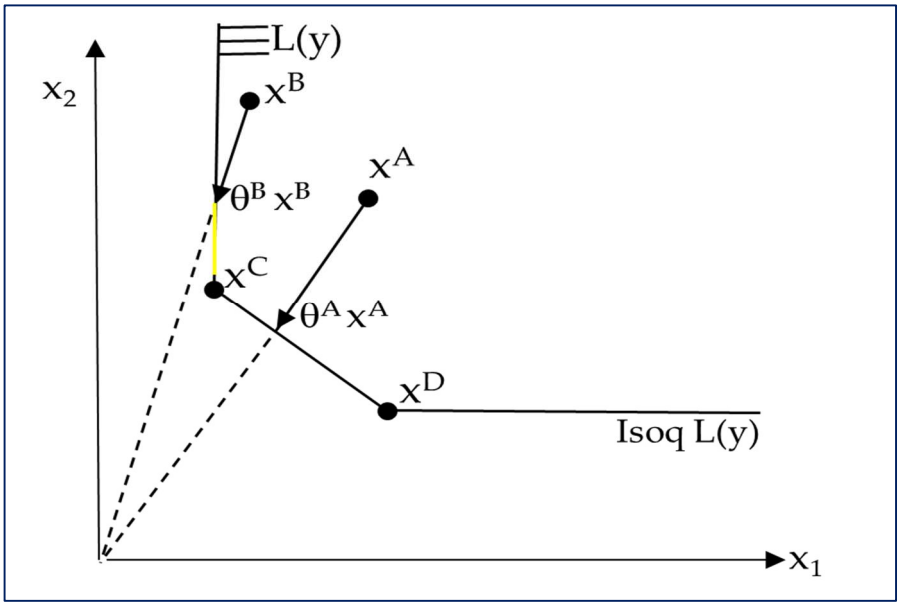
La medida de la eficiencia Debrau-Farrell expresada en la terminología de la función distancia[7] de Shephard quedaría definida como:

$$D_O^{DF}(x, y) = \max\{\lambda : \lambda y \in P(x)\} \tag{1.8}$$

Mediante la Figura 5 se ilustra la comentada diferencia entre la definición de Koopmans, más estricta al considerar una unidad eficiente, y la medida Debrau-Farrell.

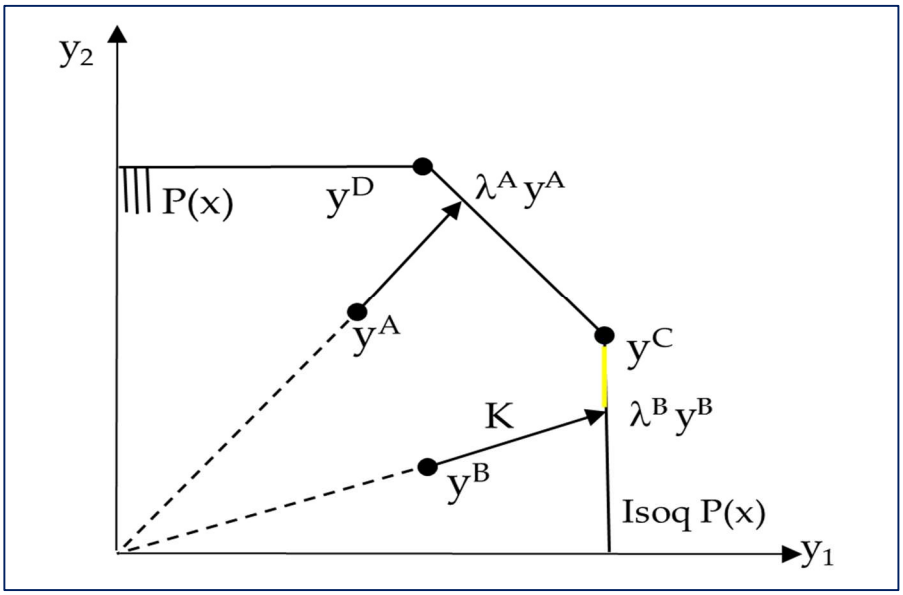
[7] La función distancia en outputs es definida por Shephard como: $D_o = min\{\lambda: \lambda y \in P(x)\}$, claramente $D_o(x, y) \leq 1$, por lo que la expresión de la isocuanta quedaría representada: $IsoqP(x) = \{y: D_o(x, y) = 1\}$

Figura 5. Medidas de la eficiencia técnica. Orientación hacia inputs



Fuente: a partir de Lovell (1993)

Figura 6. Medidas de la eficiencia técnica. Orientación hacia outputs[8]



Fuente: a partir de Lovell (1993)

[8] La zona coloreada de amarillo representa la holgura en el output y_2

En la figura 5 se advierte que las combinaciones C y D son eficientes, no se puede llevar a cabo una reducción en ninguno de los inputs y seguir obteniendo la misma producción; en 6, no se puede aumentar la producción manteniendo el nivel de recursos. El segmento x^Cx^D (y^Cy^D) representa el subconjunto eficiente. En cambio, los puntos A y B son ineficientes, ya que observando su proyección radial podrían reducir su vector input y continuar siendo capaz de producir el mismo vector de outputs. O en la orientación outputs, podrían aumentar su vector de output y seguir consumiendo el mismo vector de inputs.

Asimismo, se aprecia claramente la no coincidencia entre la medida de la eficiencia Debrau-Farrell y el concepto de eficiencia dado por Koopmans en determinados casos.

Si se observa la proyección radial[9] del punto A, θ^Ax^A, que permitiría a la unidad situarse sobre la frontera (λ^Ay^A, en la orientación output), será considerado eficiente bajo cualquiera de las dos perspectivas, pues pertenece tanto a la isocuanta como al subconjunto eficiente. Sin embargo, la proyección de la combinación input-outpus B, θ^Bx^B o λ^By^B dependiendo de la orientación inputs u outputs que se tome, cumple los requisitos para ser considerado eficiente según la medida de Debrau-Farrell, pero no verifica los criterios que establece la definición de Koopmans, ya que si bien opera sobre la isocuanta no pertenece al subconjunto eficiente presentando una holgura en el input x_2 (output y_2). "*Consecuentemente, la eficiencia técnica de Debrau-Farrell es necesaria, pero no suficiente, para la eficiencia técnica de Koopmans*" (Lovell, 1993, p.13).

La medida de Debrau-Farrell busca la contracción radial de los inputs; por ello incluso después de alcanzada la reducción equiproporcional de los mismos pueden existir holguras en alguno de los inputs. Para intentar solventar este problema los investigadores han propuesto otras medidas no radiales que intentan reflejar la ineficiencia real al comparar únicamente, en la mayoría de los casos, con las unidades situadas en el subconjunto eficiente.

[9] Pues se sitúa en el mismo radio vector que sale del origen, es decir, se busca otra unidad, para comparar, que utilice una combinación de factores en la misma proporción.

Así, entre otras[10], Färe y Lovell (1978) desarrollaron una medida no radial, el Índice Russell[11], que califica a las unidades como técnicamente eficientes si y solo si ningún input presenta holguras, es decir, si pertenece al subconjunto eficiente. Este índice daba la misma ponderación a todos los inputs sin tomar en consideración la importancia relativa del mismo en el proceso productivo, por lo que Thanassoulis y Dyson (1992) y Ruggiero y Bretschneider (1998) introdujeron el Índice Russell ponderado; sin embargo, Ruggiero (2000) señala que ambas medidas pueden no comparar un determinado punto de posibilidades de producción con el más eficiente dados los pesos de los factores al ignorar la isocuanta de referencia información relativa a los pesos; por ello desarrolla una nueva medida, la medida Koopmans, que emplea análisis de regresión para identificar la importancia de cada input en el proceso de producción, indicando los resultados de su trabajo que opera en la mayoría de los casos mejor que las medidas anteriores al comparar a los productores con posibilidades de producción eficientes permitiendo simultáneamente distintas ponderaciones en los factores. Otros intentos por mejorar la medida de Russell son los llevados a cabo por Färe et al. (1985,1994) que desarrollan la medida completándola de tal forma que no sólo considere los inputs y haciéndola invariante a las unidades de medida, pero requiere cálculos complejos; también Pastor et al. (1999) presentan una medida gráfica de eficiencia Russell mejorada. No obstante, estas técnicas presentan sus propios problemas, no son invariantes ante modificaciones en las unidades de medida, no presentan la propiedad de homogeneidad[12] o son computacionalmente complejas.

[10] Otras medidas no radiales de eficiencia técnica son: la asimétrica de Färe (1975) y la medida de Zieschang (1984). Para un estudio detallado de las medidas no radiales ver Färe et al.. (1983b) y Devaux et al. (1998).

[11] Determina la reducción máxima de la suma individual del input consistente con el nivel de output observado.

[12] Es una de las propiedades que deben de cumplir las medidas radiales (Kumbhakar y Lovell, 2000) y que permite que un cambio equiproporcional en todos los inputs produzca un cambio equivalente en la medida de eficiencia técnica orientada a los inputs.

1.1.2. Especificación de la medida de eficiencia técnica

Medir la eficiencia de un conjunto de unidades productivas requiere el establecimiento del índice que se pretende calcular. Para diseñar el índice se tendrá en cuenta cual va a ser su orientación (la dirección que se sigue para llegar a la combinación eficiente con la que se comparara la unidad), su radialidad o si el patrón eficiente de referencia es una función frontera o no. Dependiendo de las elecciones que realice, el investigador calculará la eficiencia con una u otra metodología de las disponibles.

1.1.2.1. Medidas radiales y no radiales

Se considera que una medida es radial cuando se busca la contracción equiproporcional de todos los inputs o la expansión proporcional de todos los outputs, según la orientación de la medida.

Las medidas radiales presentan una serie de virtudes (Färe et al., 1985): son consistentes con la medida original de Farrell, su cálculo es sencillo, de fácil interpretación en términos de reducción de costes y descomposición de la medida de eficiencia global. Ahora bien, el hecho de que se construyan en base a un componente técnico que conlleva una reducción equiproporcional en todos los inputs, o un incremento proporcional en todos los outputs, o en ambos, no garantiza que se alcance el apropiado subconjunto eficiente de la tecnología, lo que puede llevar a una sobreestimación de la eficiencia técnica de un vector (Färe y Lovell, 1981).

Las medidas no radiales se introducen para superar esa limitación; así, el componente técnico de estas medidas es de naturaleza no radial, es decir, la unidad será considerada eficiente si y sólo si pertenece a un subconjunto eficiente. Como se ha visto anteriormente, estas medidas no están exentas de inconvenientes, su cálculo es más complejo, su interpretación no es tan directa y no generan una descomposición natural de la eficiencia global. Los dos últimos inconvenientes pueden ser resueltos mediante una ligera modificación en el componente técnico (ver Färe et al., 1985); sin embargo, el hecho de no ser invariantes a las unidades de medida ha limitado su aplicación empírica.

La medida de Farrell es una medida radial, en el sentido de que busca la reducción de la ineficiencia a lo largo del radio vector que sale del origen. Así, todas

las medidas que toman como base el trabajo seminal de Farrell, desarrollan índices radiales. Una de las principales ventajas que aportan estas medidas es que no varían ante cambios en las unidades de medida, lo que favorece su aplicación.

1.1.2.2. Orientación de la medida de eficiencia

Al detectarse la ineficiencia, la decisión de cómo alcanzar la frontera eficiente va a depender de los objetivos de la unidad evaluada y del grado de control sobre las variables. Habitualmente son dos las direcciones que la unidad productiva puede seguir:

- Orientación hacia los inputs, la unidad óptima con la que se compara la unidad evaluada será aquella que para un mismo nivel de producción minimiza el uso de factores. Esta orientación es preferible cuando el nivel de output es exógeno y hay capacidad de controlar los inputs.
- Orientación hacia los outputs, la unidad productiva evaluada será comparada con aquella que maximiza la producción con el uso de la misma cantidad de factores productivos que ella. Es más apropiada cuando los inputs son fijos.

Ambas orientaciones no producen medidas equivalentes de la eficiencia técnica, salvo que la función de producción presente rendimientos constantes a escala (Färe y Lovell, 1978). Si bien sí consideran a las mismas unidades eficientes puesto que la frontera estimada es idéntica en ambas orientaciones, respecto a las unidades ineficientes pueden presentarse variaciones al diferir el conjunto de referencia de las mismas (Coelli, 1998).

El identificar de forma clara el objetivo que se persigue ayudará a seleccionar la orientación apropiada, si el foco principal es identificar unidades que sobreutilizan o malgastan recursos se buscará la reducción de inputs a través de una orientación en input, si por el contrario la atención se centra en acrecentar el nivel de output la orientación escogida será hacia outputs (Cook et al., 2014). Además, la exogeneidad de las variables inputs u outputs determinará la elección de una orientación u otra. Cuando los inputs son exógenos se elegirá una orientación outputs; sin embargo, si lo que depende de la gestión son los inputs y el output es exógeno (viene dado) se seleccionará una orientación será input (Pacheco et al.,2014).

Cabe plantearse una tercera posibilidad que es la orientación input-output que busca la distancia más corta para dirigirse a la frontera siguiendo un determinado patrón. Se han propuesto dos medidas alternativas.

La medida gráfica hiperbólica[13] de Färe et al. (1985), busca la reducción de los inputs y la maximización de los outputs a través de la hipérbola que pasa por el proceso productivo. Y alternativamente, Chamber et al., (1996, 1998) plantean la medida de eficiencia direccional[14] que proyecta el punto ineficiente sobre la frontera en una dirección arbitraria y lineal, a lo largo de un patrón en la dirección $(-d_x, d_y)$ siendo d_x y d_y dos vectores de dirección que pueden tomar valor cero, lo que le proporciona una gran flexibilidad (Simar y Wilson, 2015). Esta medida ha despertado un gran interés pues los inputs y outputs pueden tomar valores negativos, lo que no está permitido en las otras medidas que requieren cantidades no negativas. Además, las medidas orientadas a inputs y outputs pueden considerarse casos especiales de funciones distancia direccional[15] (Simar et al., 2012).

El principal inconveniente que presentan las medidas derivadas de esta dirección alternativa es que no son invariantes[16]. En consecuencia, los investigadores deben evitar definir medidas de eficiencia dependientes de las unidades de medida de los inputs y los outputs (Simar y Wilson, 2013), es decir, que un cambio en las unidades de medida no cambie el valor de la medida de

[13] Para mayor información ver Färe et al. (1985) y Färe y Grosskopf (2004a).

[14] Ver Chambers et al. (1998) y Färe y Grosskopf (2004a) para una información más detallada.

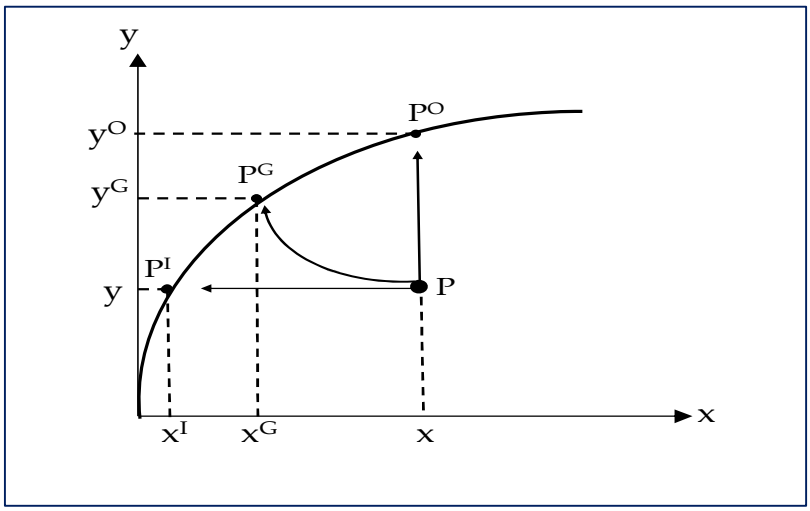
[15] Si $d_x = x$ y $d_y = 0$, se obtendría la medida orientada en inputs. O si $d_x = 0$ y $d_y = y$, la orientada a output.

[16] Färe, Grosskopf y Margaritis (2008) sí manifiestan que la función distancia direccional es independiente de las unidades de medida en el sentido de que si multiplica los inputs (outpts) y su vector de dirección asociado por el mismo escalar, no cambiará el valor de la función distancia direccional. Sin embargo, como señalan Simar y Wilson (2013) no es homogénea de grado cero en inputs y outpus, sino en inputs u outputs y su correspondiente vector de dirección. Lo que limita el rango de elección de los vectores de dirección; así si se selecionan los vectores para minimizar la distancia a la frontera los resultados serán sensibles a las unidades de medida.

eficiencia. No obstante, presentan un gran atractivo dentro del contexto de la eficiencia en beneficios, que implica ajustes tanto en inputs como en outputs (Fried et al., 2008a)[17].

Puede observarse en el gráfico de la Figura 7 según las orientaciones propuestas como una vez la unidad P se ha visto que es ineficiente es proyectada sobre la frontera para buscar su referente eficiente.

Figura 7. Orientación de la medida de eficiencia técnica



Fuente: a partir de Färe et al. (1985)

Supóngase una tecnología con un único input y output, como se ha comentado la unidad P (Fig. 7) es ineficiente puesto que no se sitúa sobre la frontera, y según la posibilidad considerada la unidad podría: desplazarse paralelamente al eje de abscisas y hacia la izquierda reduciendo así el consumo del input y manteniendo el nivel de producción hasta situarse sobre la frontera en el punto $P^I(x^I, y)$, si sigue una orientación input; siguiendo una orientación output, recorrer, verticalmente al eje de abscisas, la distancia hasta P^0, manteniendo constante el nivel de input x e incrementando la producción del output hasta y^O, considerar la medida de eficiencia hiperbólica buscando simultáneamente la máxima reducción equiproporcional en el input y expansión en el output, comparándose con el punto $P^G(x^G, y^G)$. La proyección de la función distancia

[17] Otra posibilidad de abordar una orientación conjunta es el empleo de los modelos no radiales SBM que se abordarán en el epígrafe 2.3.2.

direccional se realizará a cualquiera de las unidades dominantes situadas entre (x^I, y) y (x, y^O) que este situada a menor distancia.

La elección entre una u otra medida, cuya única diferencia es la dirección seguida al medir la distancia entre el punto observado y la frontera eficiente estimada, se ha discutido[18] en la literatura y son muchas las opciones disponibles; por ejemplo, elegir una dirección común para todas las unidades evaluadas o una diferente para cada una de las unidades (Wilson y Simar, 2015).

En esta investigación se utilizará una orientación hacia inputs, dado que, al menos en el corto plazo, los gobiernos locales no pueden controlar fácilmente el nivel de outputs, que será considerado exógeno, y poseen mayor capacidad de controlar el nivel de input, especialmente en áreas funcionales (Worthington y Dollery, 2001). La conveniencia de esta orientación es recogida ampliamente en la literatura de la medida de la eficiencia en el sector público local (entre otros se encuentran los trabajos de Vaden Eeckant et al., 1993; De Borge y Kerstens, 1996a, b; Balaguer-Coll et al., 2007; Benito et al., 2012, 2014, 2020). Por este motivo y para no extender las explicaciones, todos los modelos serán explicados desde una orientación hacia los inputs. El modelo equivalente para una orientación outputs supone básicamente un cambio de terminología.

1.1.2.3. Rendimientos a escala

Los modelos de eficiencia también pueden ser clasificados en base a los rendimientos a escala que caracterizan la tecnología de producción. Hay tres posibilidades dependiendo de lo que ocurra cuando la escala de producción se incrementa.

a) Rendimientos constantes a escala. La frontera muestra rendimientos a escala si al aumentar los inputs en una proporción los outputs incrementan en esa misma proporción.

b) Rendimientos crecientes a escala. En este caso el incremento de los inputs utilizados se traduce en un aumento proporcionalmente mayor en los outputs.

[18] Ver Färe et al. (2008)

c) Rendimientos decrecientes a escala. El aumento de inputs conlleva, en este caso, un incremento proporcionalmente inferior en los outputs.

Normalmente la caracterización de las medidas de eficiencia, se diferencian según si la tecnología (frontera del conjunto de posibilidades de producción) exhibe:

1) Rendimientos constantes a escala globalmente a lo largo de toda la frontera.
2) Rendimientos variables a escala, es decir, la tecnología de producción presenta diferentes regiones que pueden mostrar localmente rendimientos constantes, crecientes y decrecientes a escala.
3) Rendimientos no crecientes a escala, en cuyo caso la frontera muestra rendimientos constantes o decrecientes a escala.

De este modo asumir rendimientos constantes o no crecientes a escala es más restrictivo que asumir rendimientos variables, y asumir rendimientos constantes es más restrictivo que asumir rendimientos no crecientes a escala (Simar y Wilson, 2013).

1.1.2.4. Métodos frontera o no frontera

Las técnicas de medida de la eficiencia técnica se pueden agrupar en dos tipos: aquellas que utilizan modelos de frontera para determinar el óptimo de referencia (la función de producción) y las que no.

a) Modelos de no frontera

No miden la eficiencia de una unidad productiva como la distancia a una frontera de producción. En estos modelos el índice de eficiencia de una unidad es calculado con independencia de la actuación del resto de unidades analizadas. En consecuencia, estiman la eficiencia de forma absoluta. Destaca el uso de índices globales, ratios y aproximaciones econométricas para calcular el valor medio de output que puede obtenerse dada la cantidad de input disponible o el valor medio de input disponible para obtener una cantidad dada de output.

Utilizando medios econométricos estiman una función de predicción (no frontera[19]) que bien utilizan para hacer comparaciones o para realizar test de hipótesis. Tienen su origen en Hooper (1965)[20] y principalmente se centran en la eficiencia asignativa. Como aspecto positivo respecto a los modelos frontera Førsund et al. (1980) señalan que la manera de introducir la ineficiencia en los modelos no frontera[21] favorece la implantación econométrica de esos modelos, pero reduce la información obtenida. Además, la referencia se construye con todas las observaciones de la muestra, no sólo con las eficientes (Cordero, 2006), y el hecho de ser un valor medio tiende a institucionalizar la ineficiencia y es inconsistente con un comportamiento optimizador (Ganley y Cubbin, 1992).

Dado que quedan fuera del ámbito de esta investigación no son objeto de estudio. Para un análisis detallado ver los modelos desarrollados por Lau y Yotopoulos (1971), Yotopoulos y Lau (1973,1979) y Toda (1976).

b) Modelos de estimación de fronteras

Estos modelos analizan la eficiencia de forma relativa, comparando las unidades analizadas con un estándar denominado frontera eficiente. La frontera actúa como referencia óptima, unidades más eficientes, con la que comparar al resto de unidades para determinar su grado de eficiencia (ineficiencia).

Las desviaciones de las DMUs respecto a la frontera se utilizarán como medida de la ineficiencia. Dependiendo de la interpretación que hagan de esas desviaciones las fronteras pueden clasificarse como determinísticas o estocásticas. Las primeras atribuyen toda la desviación a la ineficiencia técnica de la unidad productiva. Las últimas toman en consideración que las unidades pueden verse

[19] No fuerzan a las observaciones a permanecer en un lado de la función, no envuelve a los datos y la medida de eficiencia no está asociada a los conceptos de frontera y distancia (Førsund et al., 1980).

[20] Muy criticado, pero ha influido los desarrollos posteriores que se han limitado a parametrizar el modelo de Hooper (1965), convirtiendo las desigualdades en parámetros a estimar (Lovell, 1993).

[21] Vía variación de coeficientes (Lau y Yotopoulos, 1971) o vía asimetría (Toda, 1976) en contraste con los modelos frontera que lo hacen introduciendo la ineficiencia a través de un término de error.

afectadas por factores exógenos fuera del control de la unidad y que no afectan a todas por igual.

La clasificación de las metodologías para definir la frontera hace referencia a la forma de especificación o estimación de la frontera (Førsund et al., 1980). La estimación empírica de la frontera puede llevarse a cabo mediante aproximaciones paramétricas y no paramétricas (Lovell, 1993).

- Aproximaciones paramétricas, asumen una forma funcional para la frontera de producción. La elección *a priori* de la forma de la frontera determina los resultados, condicionándolos a la validez del supuesto. La estimación de los parámetros puede llevarse a cabo mediante programación matemática o con técnicas econométricas/estadísticas (determinísticas o estocásticas).
- Aproximaciones no paramétricas, no especifican una forma funcional concreta a la frontera, sino que establecen unos supuestos sobre la tecnología de producción para estimarla a partir de los datos observados disponibles. Normalmente son de enfoque determinístico y aplican programación matemática.

Estas aproximaciones utilizarán la programación matemática o métodos estadísticos para estimar la frontera (Lovell y Schmidt, 1988). En la tabla 1 se presentan los métodos de evaluación de la eficiencia y los estudios precursores.

Puesto que la tecnología de producción es desconocida y no hay una única forma óptima de valorar la eficiencia de un conjunto de unidades productivas, en general las características del sector, junto con las restricciones de información y el propósito del análisis determinarán la técnica más adecuada (Pedraja-Chaparro et al., 2005).

Tabla 1. Metodologías fronteras para la medición de la eficiencia

Establecimiento de forma funcional	**Existencia de relación estadística**	**Existencia de perturbación aleatoria**	**Precursores**
Paramétricos	Estadísticos	Deterministas	Afriat (1972); Richmond (1974)
		Estocásticos	Aigner, Lovell y Schmidt (1977) Meeusen y Van den Broek (1977)
	Programación matemática	Deterministas	Aigner y Chu (1968) Førsund y Jansen (1977) Nishimizu y Page (1982)
		Estocásticos	Tintner (1960) Timmer (1971)
No paramétricos	Programación matemática	Deterministas	Charnes, Cooper y Rhodes (1978)
		Estocásticos	Sengupta (1990)

Fuente: a partir de Pastor (1995) y Coll y Blasco (2006)

1.2. METODOLOGÍAS PARAMÉTRICAS

La forma paramétrica de la función usada para representar la tecnología de producción es especificada *a priori*. Así, en el análisis empírico de carácter paramétrico el primer paso es determinar una forma funcional específica para la frontera eficiente, normalmente Cobb-Douglas o Translog, estimándose sus parámetros a través de técnicas econométricas o programación matemática. La valoración de la eficiencia será diferente dependiendo de la forma funcional seleccionada.

Entre las ventajas que presenta esta caracterización de la tecnología está, al usar procedimientos estadísticos, el considerar los errores de medida u otros,

realizar tests estadísticos para la selección de variables a incluir en el modelo, e incorporar el efecto de factores explicativos de ineficiencias ajenas a las DMUs. Asimismo, Lovell (1993) señala que muchos de estos análisis eliminan el problema de las holguras al imponer igualdad entre la isocuanta y el subconjunto eficiente.

Entre sus desventajas hay que destacar que los resultados están condicionados a la forma funcional preestablecida y a la distribución del error, y que salvo excepciones[22] no puede utilizarse en un contexto multiproducto.

Estos modelos pueden ser clasificados en deterministas, si atribuyen la desviación respecto de la frontera a la ineficiencia técnica de la unidad, o en estocásticos, si además consideran la existencia de errores aleatorios.

1.2.1. Modelos con enfoque determinista

Los modelos determinísticos atribuyen toda la desviación de la frontera a la ineficiencia técnica, ignorando las influencias estocásticas, es decir, toda la ineficiencia es justificada como gestión ineficiente de los recursos por parte de la DMU sin tenerse en cuenta que pueden existir factores exógenos fuera del control de las unidades. Asumiendo este enfoque la frontera de producción puede representarse como:

$$Y = f(x) - u$$

Donde u es una perturbación aleatoria mayor o igual a cero que mide la distancia de cada DMU a la frontera y a la que también se le asigna una distribución específica. Los investigadores han propuesto diferentes métodos para obtener el componente de ineficiencia u; los más conocidos son (Kumbhakar y Lovell, 2000):

- *Goal programing*[23]. Originariamente se remonta a Aigner y Chu (1968), siendo su objetivo seleccionar un vector de parámetros que minimice la

[22] Excepto cuando sea posible la agregación de todos los outputs en uno solo o cuando los modelos sean adaptados a situaciones multi-output, por ejemplo, al sustituir la frontera de producción por una función distancia (Coelli y Perelman, 2001).

[23] Los enfoques, goal programing y estimación por máxima verosimilitud, no son homólogos (Lovell, 1993) puesto que aquellos modelos que no asumen una distribución

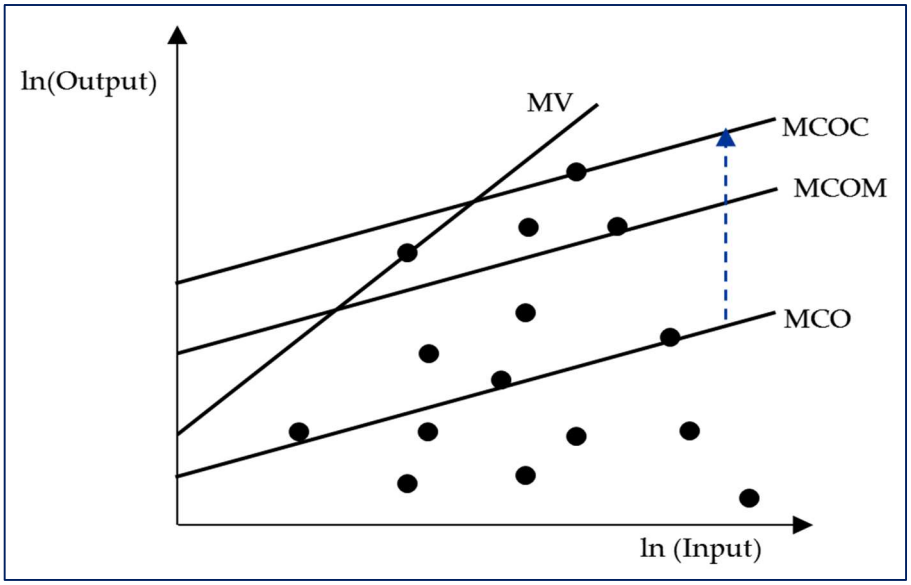
suma de las desviaciones (o de su cuadrado) respecto a la frontera, estimando los parámetros mediante programación matemática.

- Estimación por mínimos cuadrados ordinarios corregidos (MCOC). Winsten (1957) estimó los parámetros por mínimos cuadrados ordinarios en una primera fase y después corrigió la estimación sesgada del término independiente al alza, sumándole el máximo valor de los residuos mínimo cuadráticos, y los residuos hasta que todos sean no negativos y al menos uno cero, restándole el máximo valor de los residuos mínimos cuadráticos (el de la unidad que se sitúa sobre la frontera). No asume una forma funcional para u_i.
- Estimación por mínimos cuadrados ordinarios modificados (MCOM). Afriat (1972) y Richmond (1974) modifican la segunda fase del modelo anterior al establecer una forma funcional para el término u_i. Asumen que la ineficiencia se distribuye como una exponencial o como una normal de una cola, lo que se tiene en cuenta al corregir el estimador sesgado y los residuos.
- Estimación por máxima verosimilitud (MV). Greene (1980) propone para el término u_i seguir una distribución gamma. Estima todos los parámetros, tanto los de la función como los de la distribución de u_i por máxima verosimilitud, obteniendo una frontera que envuelve todas las observaciones. Esto supone una ventaja respecto a la estimación por mínimos cuadrados que permite que las observaciones se sitúen por encima de la frontera, de ahí las correcciones anteriores para desplazar la frontera hasta que cubra el mayor número de observaciones posible (ver Figura 8).

---

gamma para el término u_i no cumplen todas las condiciones de regularidad asignadas a los modelos de máxima verosimilitud (Greene, 1980) y tienen propiedades estadísticas desconocidas. Si bien Schmidt (1976) presenta estos modelos como equivalentes a la estimación por máxima verosimilitud bajo determinadas circunstancias (si las desviaciones no negativas siguen una exponencial o una medionormal), reconoce que tienen propiedades estadísticas inciertas.

Figura 8. Fronteras de producción paramétricas determinísticas



Fuente: a partir de Lovell (1993)

La principal desventaja de estos modelos es su carácter determinístico; es más realista que el modelo considere otras fuentes de ineficiencia además de la técnica, dado que pueden existir factores fuera del control de las DMUs que determinen cierto grado de ineficiencia. Según Lovell (1993) estos modelos combinan las peores características de los enfoques econométricos y de programación matemática, son determinísticos y paramétricos.

1.2.2. Modelos con enfoque estocástico

Propuestos por Aigner et al. (1977) y Meeusen y Van den Broek (1977) consideran que las DMUs pueden verse afectadas por factores no controlables por las mismas, descomponiendo así la desviación de la unidad respecto de la frontera en dos elementos: uno debido a la ineficiencia técnica y otro derivado de las influencias estocásticas o errores de medida. La ecuación de la función de producción puede ser reescrita de la siguiente forma:

$$Y = f(x) + \varepsilon \qquad \varepsilon = v - u$$

Donde en el término de error ε distinguimos los dos componentes: u, componente asimétrico no negativo que mide la ineficiencia técnica, y el componente simétrico aleatorio v, que se supone idéntica e independientemente distribuido de media cero[24] y varianza constante, refleja factores no controlables por la DMU (factores geográficos, demográficos o económicos, la suerte, o errores de medida derivados de la no consideración de variables significativas en el modelo). Además, se asume que ambos términos de error, v y u, son independientes.

Entre los métodos estocásticos[25] cabe destacar que la Aproximación de Frontera Estocástica (SFA), propuesta de forma simultánea por Aigner et al. (1977) y Meeusen y Van den Broeck (1977), ha sido la más utilizada en la literatura.

Hay quienes defienden la mayor precisión de estos modelos, respecto a los determinísticos, por la consideración de la desviación desde la frontera eficiente que realizan, por la posibilidad de realizar test estadísticos previos para identificar las variables explicativas a incluir en el modelo, la posibilidad de introducir variables ambientales en la estimación y la menor sensibilidad a la existencia de unidades atípicas. Sin embargo, se identifican varias limitaciones como el hecho de que los resultados están muy condicionados por los supuestos establecidos a priori sobre la forma funcional de la frontera y de los términos aleatorios, y la dificultad de usarlos en contextos con muchos outputs.

1.3. METODOLOGÍAS NO PARAMÉTRICAS

Los métodos no paramétricos, cuyo origen se remonta al trabajo seminal de Farrell (1957) se basan en el cálculo de fronteras lineales por tramos utilizando técnicas de programación matemática. Estos métodos envuelven los datos lo más estrechamente posible sujeto a supuestos mínimos con respecto a la estructura de

[24]Aigner et al. (1977) y Meeusen y Van den Broek (1977) consideran que v se distribuye según una normal, $N(0, \sigma_v^2)$ y u según una seminormal $N(0, \sigma_u)$. Diferentes propuestas de distribución para ambos elementos pueden verse en Battese y Coelli (1995).

[25] Para profundizar en el estudio de los modelos con fronteras estocásticas ver Førsund et al. (1980) o Kumbhakar y Lovell (2000).

la tecnología de producción (Worthington y Dollery, 2000c), pero sin especificar una forma funcional concreta para la frontera.

Algunas de las ventajas de este procedimiento son la no imposición de una forma funcional concreta, lo que implica flexibilidad para adaptarse a diferentes modelizaciones de los procesos productivos, y permitir el tratamiento de tecnologías multi-output. Su mayor sensibilidad a los errores de medida o puntos extremos, la posible existencia de holguras y su naturaleza determinística son sus principales limitaciones. Esto conlleva, dificultad de llevar a cabo inferencia estadística, problemas de dimensionalidad y la influencia de valores atípicos o extremos (Badin et al., 2014).

Dentro de los métodos no paramétricos, DEA y FDH son particularmente atractivos puesto que no se basan en hipótesis restrictivas en el Proceso de Generación de Datos. La elección entre la metodología convexa o no dependerá de cuál sea más apropiada, a la hora de analizar la eficiencia, en el contexto empírico analizado (Daraio y Simar, 2007b).

1.3.1. Estimación mediante DEA

El Análisis Envolvente de Datos (DEA[26]) es una técnica de programación matemática cuyo origen se remonta al trabajo de Farrell (1957), quien plantea la obtención de una medida de la eficiencia mediante la resolución de un problema de programación lineal para comparar la eficiencia de un conjunto de unidades. En 1978 Charnes, Cooper y Rhodes formulan el DEA planteando una frontera envolvente que contenga todas las unidades decisión (DMUs) eficientes y sus combinaciones lineales convexas. Esta envolvente se obtiene mediante la resolución de una secuencia de problemas de programación lineal, uno para cada DMU de la muestra, que permite asignarle una puntuación de eficiencia a cada unidad evaluada.

Así, el índice de eficiencia de cada unidad puede ser representado como la ratio de la suma ponderada de todos los outputs entre la suma ponderada del total de los inputs[27]:

[26] Siglas en inglés, Data Envelopments Analysis.

[27] El desarrollo matemático del DEA se abordará en el siguiente capítulo.

$$Eficiencia = \frac{Suma\ ponderada\ de\ los\ outputs}{Suma\ ponderada\ de\ los\ inputs}$$

El cálculo del índice se lleva a cabo mediante la estimación de las ponderaciones que maximicen el índice para cada unidad. Como apunta Sexton (1986), al no coincidir las combinaciones de inputs y outputs de cada unidad, tampoco lo harán las ponderaciones asignadas a cada una de ellas, es decir, atribuye las ponderaciones que permiten a cada unidad obtener el mayor índice de eficiencia. El método valora cada unidad de la forma más favorable (Pedraja et al., 2005), es decir, el modelo determina para cada unidad el conjunto óptimo de ponderaciones de inputs y outputs que maximiza su índice de eficiencia.

La eficiencia (ineficiencia) técnica relativa de cada unidad es medida como la distancia entre la combinación observada y la frontera obtenida a partir de todas las unidades evaluadas. La unidad ineficiente, situada fuera de la frontera, tendrá un punto de proyección sobre la envolvente que representará a una unidad eficiente, real o ficticia (combinación lineal de unidades eficientes reales de la muestra), que puede utilizar como referente.

La formulación inicial (DEA-CCR[28]) de este programa presenta variantes dependiendo:

a. Del objetivo conductual de la DMU, es decir, de si se adopta para medir la eficiencia una orientación hacia los inputs o hacia los outputs. Así, si la unidad opta por identificar su objetivo como la reducción proporcional en los inputs usados, dado un cierto nivel de output, se hablará de una orientación hacia los inputs o de minimización de inputs. Si el comportamiento de la DMU persigue un incremento proporcional en output, dado un conjunto de input, el objetivo será la maximización del output y se tendrá una orientación hacia los outputs.

b. De los rendimientos a escala, hace referencia a como varían los outputs cuando todos los inputs se incrementan proporcionalmente. Se especifican tres modelos DEA: con rendimientos constantes a escala (CRS[29]), con

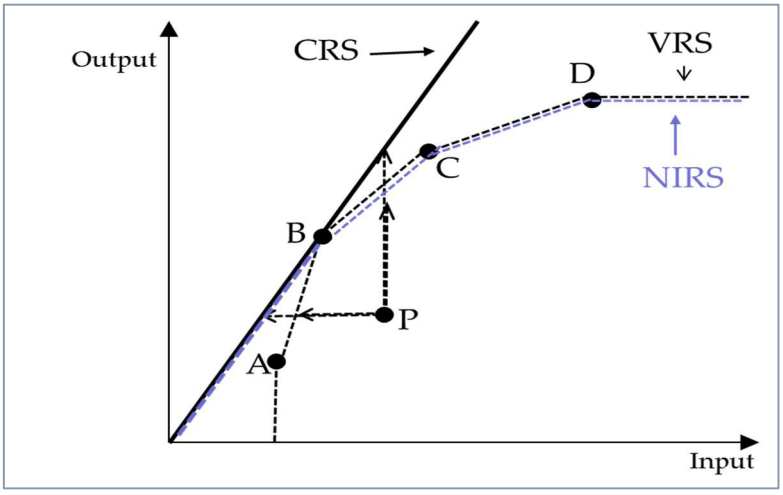
[28] El modelo original desarrollado por Charnes et al. (1978) se conoce por las siglas de sus autores CCR.

[29]Siglas en inglés de Constant Returns to Scale.

rendimientos variables a escala (VRS[30]) y con rendimientos no crecientes a escala (NIRS[31]).

En base a lo señalado, orientación y rendimientos a escala, se pueden diferenciar distintas variantes del modelo que serán desarrolladas en el próximo capítulo.

Figura 9. Variantes DEA en base a la orientación y a los rendimientos a escala



Fuente: a partir de Lovell (1993)

Apoyándose en la Figura 9, que representa para el caso de un input y un output las diferentes fronteras, se observa que, bajo CRS, la única unidad eficiente es la B, mientras que considerando la frontera estimada bajo VRS o NIRS resultan eficientes las unidades B, C y D; y la unidad A sólo es eficiente considerando VRS. Bajo cualquier suposición la unidad P se muestra ineficiente. Ahora bien, considerando la orientación, la medida de eficiencia de la unidad P varía de un caso a otro. En la orientación hacia los outputs la medida de eficiencia coincide considerando VRS o NIRS, en cambio bajo CRS la ineficiencia es mayor (la distancia hasta la frontera es mayor, la medida de eficiencia menor). Para la medida orientada hacia los inputs, P alcanza antes la frontera VRS que NIRS o CRS, por lo que su índice de eficiencia sería mayor asumiendo VRS.

[30] Siglas en inglés de Variable Returns to Scale.

[31] Siglas en inglés de Non-Increasing Returns to Scale.

Se aprecia que la frontera que envuelve los datos más estrechamente es la VRS, seguida de la frontera bajo NIRS y por último, la frontera bajo rendimientos constantes. Por ello, las DMUs eficientes bajo CRS lo serán también suponiendo VRS o NIRS pero no a la inversa.

Sus principales limitaciones se derivan de su carácter determinístico o no estocástico, que lo hace sensible al ruido estadístico resultante de los errores de medida de los datos. La sensibilidad a los valores extremos se debe al hecho de que la frontera es determinada mediante los puntos extremos en los datos, los cuales pueden ser extremos debido a errores en los mismos (Grosskopf, 1996).

También presenta una elevada sensibilidad a la selección de variables. La correcta elección de los inputs y outputs es fundamental, ya que al ser no paramétrico carece de la posibilidad de realizar test de hipótesis para la selección de variables. Los resultados podrían estar condicionados por las variables incluidas.

La homogeneidad de las unidades evaluadas asume que todas las DMUs tienen acceso a los mismos inputs y producen los mismos outputs y persiguen similares objetivos, por lo que inicialmente deben detectarse unidades con comportamientos atípicos y ser eliminadas.

La elevada flexibilidad a la hora de asignar ponderaciones a los distintos inputs y outputs, si bien ha sido considerada una virtud, puede ser un inconveniente. Dyson et al. (2001) señalan las fuentes de esos inconvenientes en: la linealidad, puede hacer que al aumentar el peso de un input otro disminuya debido a la compensación; la posibilidad de que alguna ponderación sea cero y el input u output correspondiente no se tome en consideración en el análisis; y la no consideración de posibles relaciones existentes entre los inputs y los outputs, o entre inputs o entre outputs.

El DEA pierde poder discriminatorio si no se mantiene la proporción adecuada entre variables incluidas en el modelo y número de unidades evaluadas. Implica que un tamaño muestral pequeño, o la inclusión de un alto número de variables, puede incrementar el número de unidades eficientes.

El interés por solventar estas limitaciones de la metodología ha llevado a que haya sido objeto de varias modificaciones y ampliaciones[32]. Esta cuestión se abordará en el capítulo dos.

Las principales ventajas que presenta esta metodología son:

a. Su alto grado de flexibilidad debido a:

   a.1. Que no requiere la especificación de una frontera de producción, permitiendo ajustarse a los datos observados.

   a.2. La capacidad de adaptarse fácilmente a entornos multi-recursos y multi-producto (reduciendo todos los inputs a un único input virtual y todos los outputs a un único output virtual) y con ausencia de precios.

b. Su radialidad permite incorporar al análisis, variables en distintas unidades de medida.

c. Posibilita el cálculo de un indicador global de eficiencia técnica que permite analizar el rendimiento global de la entidad. Esto supone una gran ventaja respecto a los índices de rendimiento parcial anteriores (Charnes et al., 1985a).

d. La capacidad de descomponer en la eficiencia técnica los efectos de escala y los efectos de los inputs no deseables.

e. Facilita el bechmarking, ya que permite para cada unidad identificar un grupo de referencia, esto es un grupo de unidades que persiguen los mismos objetivos y prioridades, pero gestionan mejor. La unidad puede utilizar la unidad de referencia para mejorar su gestión.

f. Clasifica a cada unidad de la mejor manera posible en comparación a las otras unidades, al seleccionar para cada una de ellas la estructura de ponderaciones de inputs y outputs que más le beneficia.

Debido a sus propiedades y flexibilidad es usado ampliamente en el campo de la evaluación del sector público. La elección de este método viene avalada por su amplio uso en el ámbito de la medición de la eficiencia en el sector público (por ejemplo, Ancarani y Capaldo, 2001; Bosh et al., 2000; Díez-Ticio y Mancebón, 2003;

[32] Ver Cook y Seiford (2009).

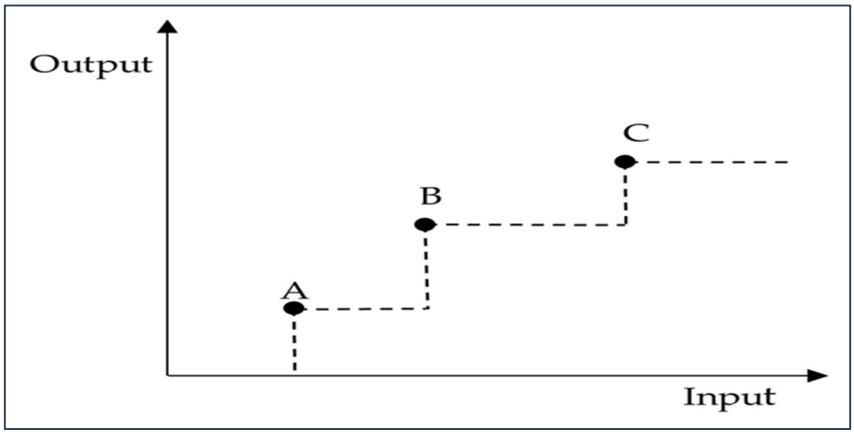
Drake y Simper, 2003; García, 2006, 2009; Jenkins y Anderson, 2003; Karlaftis, 2004; Nyhan y Martín, 1999; Thanassoulis, 2002; Worthington y Dollery, 2001; Benito et al., 2014, 2020; Lo Storto, 2016; Balaguer-Coll et al., 2020; Pacheco et al., 2021, Tourinho et al., 2022 entre otros).

1.3.2. Estimación mediante FDH

El modelo Free Disponsable Hull (FDH), propuesto por Deprins et al. (1984) y desarrollado en 1993 por Tulkens, es una extensión del modelo DEA con rendimientos variables a escala y relajando la restricción de estricta convexidad. Por ello, la evaluación de las distintas DMUs se establece con respecto a la actuación de las DMUs reales más eficientes, es decir, no considera unidades ficticias derivadas de las combinaciones lineales entre unidades eficientes. Asegura comparar a la unidad ineficiente con una unidad eficiente real. De esta característica se deriva su principal ventaja, al ser la unidad de referencia real facilita el benchmarking y la justificación de las medidas a adoptar para mejorar el rendimiento de la unidad eficiente (Tulkens, 1993).

Se construye así la frontera conocida como *Free Disposable Hull* (FDH), cuya característica forma escalonada es consecuencia de las asunciones señaladas (ver Figura 10 para un input y un output). Sólo los puntos que representan a las DMUs que se sitúan sobre la isocuanta forman el subconjunto eficiente (A, B, y C).

Figura 10. Representación gráfica de la frontera Free Disposal Hull (FDH)



Fuente: a partir de Lovell (1993)

La estimación de la eficiencia de una unidad mediante FDH establece primeramente qué unidades tienen un carácter dominante sobre ella, es decir, producen más con menos cantidad de recursos (las unidades del subconjunto eficiente), y con posterioridad buscan la máxima reducción equiproporcional de los inputs posible (en una orientación hacia los inputs). Formalmente, para una muestra de observaciones $Sn = \left\{ \left(X_j, Y_j \right), j = 1, \ldots, n \right\}$ se calcularía la eficiencia del punto $\left(x, y \in \mathbb{R}_+^{m+s} \right)$ identificando el conjunto de observaciones dominantes:

$$D\left(x, y\right) = \left\{ j \middle| \left(X_j, Y_j \right) \in Sn, X_j \leq x, Y_j \geq y \right\} \tag{1.9}$$

Una vez identificadas se estimaría el índice de eficiencia como:

$$\hat{\theta}\left(x, y\right)_{FDH} = \min_{j \in D(x,y)} \max_{i=1,\ldots,m} \left(\frac{X_j^i}{x^i} \right) \tag{1.10}$$

$\hat{\theta}\left(x, y\right)_{FDH} \leq 1$, la unidad (x, y)será eficiente si ese valor es igual a la unidad.

El problema de programación que se resuelve es el mismo que el que se resuelve en la programación lineal DEA con rendimientos variables a escala (ecuación 2.11), añadiendo la siguiente restricción en la orientación input: $\lambda_j \in \{0, 1\}$ y $j = 1, \ldots, n$.

Según Wothington y Dollery (2000a) esta técnica presenta la ventaja de ser capaz de determinar la mejor práctica existente entre las organizaciones evaluadas sobre la base de pocas observaciones y no asume la existencia de muchas maneras diferentes de producir algún bien o servicio. Además, establece supuestos mínimos en relación a la tecnología de producción.

Sin embargo, Giménez (2004) advierte que la menor imposición de estructura a la función de producción (únicamente libre disponibilidad de inputs y outputs) hace necesario disponer de un número de DMUs a evaluar más elevado, pudiendo producir una muestra insuficiente sobreestimación de la eficiencia (Dekker y Post, 2001).

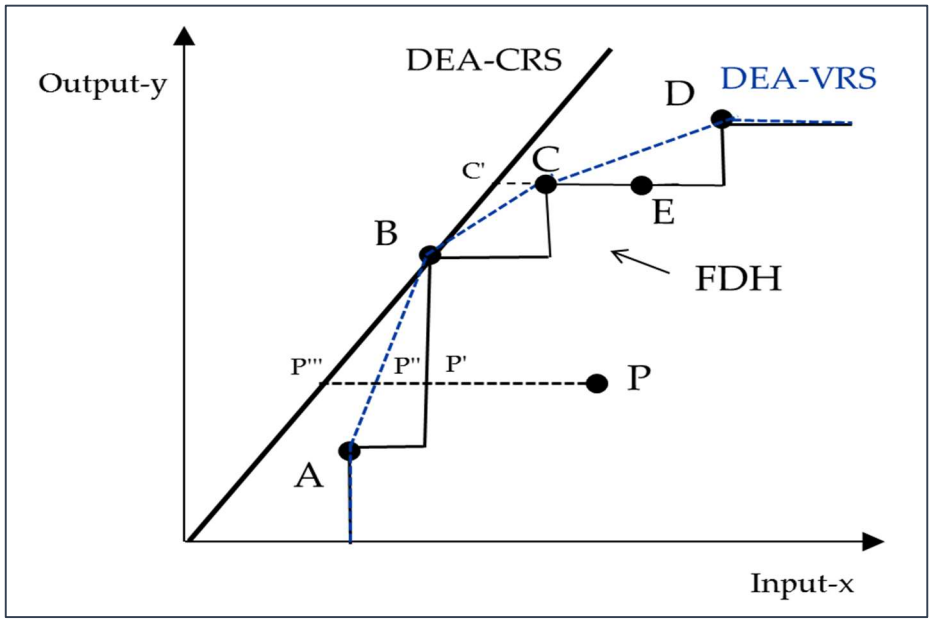
La estimación FDH de la frontera es por construcción sesgada hacia el interior del conjunto de posibilidades de producción, lo que permite considerar a más unidades eficientes que quizás no lo sean; el estimador del índice de eficiencia estará por tanto sesgado al alza, sobreestimando la eficiencia técnica de las unidades (Simar y Wilson, 2013).

1.3.3. Testando la estructura subyacente en los modelos no paramétricos

El investigador debe decidir cuáles son los supuestos a realizar para caracterizar de la forma más adecuada el conjunto de posibilidades de producción y su frontera, debido a que éstos son desconocidos y su estimación empírica requiere especificar unos supuestos mínimos. En el caso de la aproximación no paramétrica, como se refleja en los subepígrafes anteriores, existen tres posibilidades principalmente dependiendo que se asuma convexidad (DEA) o no (FDH), y de si se decanta por asumir convexidad, debe elegir si la tecnología presenta rendimientos constantes (DEA-CRS) o variables (DEA-VRS) a escala.

En la Figura 11, para el caso de un input y un output, se muestran gráficamente las diferencias entre las fronteras estimadas según los modelos no paramétricos presentados. Se observa que las estimaciones de eficiencia FDH son mayores a las producidas por DEA-CRS o DEA-VRS.

Figura 11. Representación gráfica DEA-CCR, DEA-BCC y FDH



Fuente: Elaboración propia

La frontera estimada bajo DEA-CRS es una línea recta, la frontera FDH presenta su típica forma escalonada siendo la frontera DEA-VRS el casco convexo de la frontera FDH.

Si se evalúa la eficiencia de las unidades representadas, la unidad A, C y D serían consideradas eficientes tanto en FDH como en DEA-VRS, mientras que el punto B es eficiente en los tres modelos. Las unidades P y E serán ineficientes bajo los supuestos del DEA, pero solamente el punto P es ineficiente bajo las asunciones del modelo FDH.

Siguiendo una orientación hacia los inputs, el punto E no es eficiente en DEA puesto que es posible producir la misma cantidad de output reduciendo el consumo de input si la unidad se situase en su proyección horizontal C (en DEA-VRS) o en C' (en DEA-CRS). Al evaluar la eficiencia del punto P, hacer notar que la medida de ineficiencia es menor al considerar la frontera FDH (la unidad tendría que desplazarse hasta P'), en el caso de la frontera DEA-VRS la unidad de referencia sería P'' (debería reducir el consumo de input en la distancia PP''), y la unidad sería aún más ineficiente bajo DEA-CRS, en cuyo caso la unidad de referencia vendría dada por el punto P'''.

Queda reflejado que los supuestos sobre la tecnología no sólo afectan a la forma de la frontera eficiente sino también al hecho de que una unidad sea considerada eficiente o no (Worthington y Dollery, 2000a). La elección de estos supuestos deberá realizarse independientemente de la subjetividad del investigador.

Los tres métodos representados atribuyen la desviación de las unidades respecto a su frontera eficiente a la ineficiencia técnica, por lo que son caracterizados de determinísticos derivando en problemas de sensibilidad e imposibilitando realizar contrastes de robustez de los resultados. Además, su naturaleza no paramétrica complica el uso de la estadística con la intención de evitar subjetividad en las elecciones. Como se verá en el próximo capítulo[33], se han hecho grandes avances para mejorar las características estadísticas de estos modelos intentando superar esas limitaciones.

Los recientes desarrollos sobre las propiedades estadísticas de los estimadores DEA y las técnicas bootstrap permiten desarrollar estadísticos sobre los estimadores DEA y FDH con la finalidad de contrastar hipótesis como la convexidad o los rendimientos a escala. Las propiedades asintóticas de los

[33]Se desarrolla para el modelo DEA. Aquellos lectores interesados en el desarrollo de estas características en el modelo FDH ver Korostelev et al. (1995a), y Park et al. (2000).

estadísticos DEA son establecidas por Kneip et al. (1998), Simar y Wilson (2000a), Jeong (2004), Jeong y Park (2006), Park et al. (2010) y Kneip et al. (2008, 2015), para el estadístico FDH por Park et al. (2000).

Para determinar la conveniencia de un método u otro, DEA *versus* FDH, es preferible conocer si el conjunto de producción alcanzable es convexo o no para asumir ese supuesto o rechazarlo. Varios estudios se han desarrollado motivados por la adecuación de este supuesto de convexidad sobre la estructura del conjunto de producción. Las ventajas, en sentido de precisión estadística, son importantes al asumir convexidad si ésta es apropiada (Simar y Wilson, 2015).

Briec et al. (2004) construyen indicadores de convexidad, comparando la versión convexa y no convexa de los índices de eficiencia. A partir de las ideas de estos autores, Daraio y Simar (2007b) extendieron los indicadores para la versión robusta y condicional de los estimadores, estableciendo en base a los resultados de su aplicación empírica que el supuesto de convexidad debe ser asumido con cautela, puesto que los estimadores convexos solamente son consistentes bajo el supuesto de convexidad; sin embargo, los no convexos son siempre consistentes (incluso bajo convexidad). No obstante, en las conclusiones de su trabajo señalan que los indicadores de convexidad que ofrecen no son capaces de aportar una respuesta definitiva sobre el supuesto de convexidad de la tecnología real. Puesto que sería necesario desarrollar tests estadísticos rigurosos implementando técnicas bootstrap (Simar y Wilson, 2001, 2002), sin este procedimiento formal es imposible saber si el rechazo de la hipótesis nula de convexidad es debido a que no existe convexidad o a la variación del muestreo (Daraio y Simar, 2007b).

Con posterioridad, Simar y Wilson, (2011a) proponen métodos para estimar intervalos de confianza con la finalidad de testar la estructura subyacente en los modelos no paramétricos, convexidad y rendimientos a escala. Los resultados de los experimentos Monte Carlo que realizan revelan que los tests desarrollados presentan una alta probabilidad de rechazar la hipótesis nula, son conservadores.

Kneip et al. (2015a) son los primeros en proporcionar una justificación teórica para el desarrollo de tests de hipótesis sobre la estructura del modelo de estimación. Extendiendo los resultados teóricos obtenidos sobre la utilización del teorema central del límite (TCL), Kneip et al. (2016) contrastan la convexidad del conjunto alcanzable, el tipo de rendimientos a escala (CRS o VRS) de la frontera o la igualdad de medias entre grupos de productores sin necesidad de aplicar técnicas bootstrap.

Su investigación concluye que los tests presentados para los rendimientos de escala y convexidad rechazan en menos casos la hipótesis nula que los test bootstrap (más conservadores). Daraio et al. (2018) también desarrollan test para contrastar la estructura subyacente del modelo basados en el TCL. Sin embargo, Simar y Wilson (2020) señalan que estos test suponen dividir la muestra en dos. Esta subdivisión se lleva a cabo de forma aleatoria lo que genera cierta ambigüedad. En consecuencia, los autores desarrollan un algoritmo bootstrap con el que generar múltiples divisiones de la muestra evitando la ambigüedad señalada (Simar y Wilson, 2020).

Con anterioridad han sido varios los criterios utilizados para identificar los rendimientos a escala. Entre otros, Färe et al. (1985) proponen comparar diferentes estimaciones de eficiencia DEA obtenidas bajo las distintas alternativas y en base a las relaciones que se establecen entre ellas identificar los rendimientos a escala; Banker (1984) muestra cómo emplear el modelo DEA-CRS para estimar los rendimientos de escala en base al vector de intensidad óptimo perfilado en Banker et al. (1996b) y Banker et al. (1996a); Banker (1996) sugiere contrastes de hipótesis semiparamétricos para evaluar los rendimientos, y Simar y Wilson (2002) plantean un procedimiento bootstrap adaptando la metodología desarrollada en Simar y Wilson (1998) para contrastar hipótesis respecto a los rendimientos de escala.

El enfoque de Färe et al. (1985) fue empleado por Kerstens et al. (1995) para determinar la convexidad en base a comparar los resultados DEA con los de FDH.

II – EL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS

II. EL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS

El contexto del sector público en el que se ubica esta investigación (las unidades de decisión evaluadas son municipios) viene caracterizado por una serie de rasgos distintivos que determinan en gran medida la metodología a emplear para la medición de la eficiencia.

La actividad pública presenta objetivos diversos, complejos y en ocasiones contradictorios, la gestión viene marcada en gran medida por decisiones políticas, no hay una medida de los resultados (como pueden ser los beneficios en el sector privado), y no existe un mercado lo que deriva en ausencia de precios y de competencia. Estos atributos exigen flexibilidad y unos requerimientos mínimos sobre la tecnología de producción. El DEA, así como otros métodos no paramétricos, cumple con esos requisitos, y su elección viene avalada tanto por el amplio uso de esta metodología dentro del sector público, como por el gran desarrollo de alternativas que permiten incorporar el efecto de factores exógenos, no discrecionales y ambientales, fuera del control de las unidades. En concreto, la consideración de variables ambientales permite analizar los determinantes de la ineficiencia, que es el objetivo perseguido por esta investigación.

El objetivo del presente capítulo es doble. En primer lugar, se pretende presentar la metodología del análisis envolvente de datos; y en segundo lugar, introducir los modelos alternativos surgidos principalmente con el objetivo de dar robustez al estimador DEA y dotarlo de propiedades que permitan llevar a cabo inferencia estadística de forma significativa. El desarrollo de modelos alternativos viene principalmente marcado por la necesidad de superar las limitaciones, señaladas anteriormente, derivadas en gran medida de su naturaleza no paramétrica y determinística.

Con esa intención, el capítulo se estructura en tres epígrafes. En el primero, la metodología DEA es formulada matemáticamente, tanto para el modelo original como su versión bajo rendimientos variables a escala. En el segundo, se presentan las técnicas desarrolladas para solventar los inconvenientes surgidos de su naturaleza. Por último, en el tercer epígrafe se muestran de forma introductoria las

extensiones o modificaciones llevadas a cabo en la metodología DEA a lo largo de su existencia.

2.1. METODOLOGÍA DEA

Como se ha señalado, al igual que en el resto de las aproximaciones no paramétricas, este método no asume una forma funcional específica de la frontera *a priori,* pero si establece ciertos supuestos sobre la estructura de la tecnología de producción que es desconocida.

De este modo, si se pretende medir la eficiencia de una unidad es necesario determinar primeramente el conjunto de posibilidades de producción para, con posterioridad, estimar el máximo aumento de outputs factible o la máxima reducción de inputs posible dentro de dicho conjunto (Thanassoulis, 2001). Ello requiere como paso previo la caracterización de la tecnología de producción, es decir, especificar el conjunto de posibilidades de producción (CPP).

El CPP está compuesto por los procesos productivos que se consideran tecnológicamente factibles y es necesario estimarlo a partir de las combinaciones inputs-outputs observables y conocidas de una serie de unidades productivas homogéneas que se someten a evaluación, y del conjunto de supuestos que determinen las propiedades de la tecnología de producción.

Con la intención de establecer la caracterización no paramétrica de la tecnología, supóngase un proceso productivo donde se utiliza un vector de p inputs $x=\left(x_1,\ldots,x_p\right)\in\mathbb{R}_+^p$ para producir un vector de q outputs $y=(y_1,...,y_q)\in\mathbb{R}_+^q$, y donde

$$\Psi=\{(x,y)\mid x\ puede\ producir\ y\} \tag{2.1}$$

indica el conjunto de combinaciones imaginables y tecnológicamente factibles. Este conjunto de producción Ψ puede definirse alternativamente mediante sus conjuntos restringidos de posibilidades de producción, $\chi(y)$ *o* $\Upsilon(x)$, según los requerimientos en inputs o en outputs. Conocer $\chi\ (y)$ para todo y o $\Upsilon(x)$ para todo x es equivalente a conocer Ψ.

El CPP, en una orientación hacia los inputs, viene descrito por el conjunto $\chi(y)$, el cual recoge todas las combinaciones de factores que pueden producir al menos y.

$$\chi(y) = \left\{ x \in \mathbb{R}_{+}^{p} | (x, y) \in \Psi \right\} \tag{2.2}$$

Además, cumplirá los siguientes axiomas (Shephard, 1970 y Färe, 1988) para representar a la tecnología:

A-1. El conjunto de posibilidades de producción es cerrado, asegura que el límite del CPP (frontera) esté incluido en el conjunto $\chi(y)$.

A-2 La producción de cualquier nivel de output no nulo requerirá la aplicación de una cantidad positiva de inputs: $0 \notin \chi(y) si\ x > 0$.

A-3 Convexidad, las combinaciones lineales convexas de procesos productivos factibles también pertenecen al CPP. Es decir, si $(x, y), (x', y') \in \chi(y), \alpha \in [0,1] \Rightarrow \alpha(x, y) + (1-\alpha)(x', y') \in \chi(y)$.

A-4 Disponibilidad o eliminación gratuita de inputs. En su versión estricta implica que la unidad productiva puede mantener inalterada la cantidad de outputs utilizando una cantidad mayor de cualquier input. Matemáticamente: si $x \in \chi(y), x' \geq x \Rightarrow x' \in \chi(y)$.

En su versión débil establece que si se incrementa equiproporcionalmente la cantidad de inputs el output no puede disminuir (es posible mantener el nivel de producción), si $x \in \chi(y) \Rightarrow \alpha x \in \chi(y) \forall \alpha \geq 1$.

A-5 Disponibilidad o eliminación gratuita de outputs, es posible reducir la cantidad de outputs obtenidos sin incrementarse los inputs: si $y' \geq y \Rightarrow \chi(y') \subseteq \chi(y)$.

La versión débil establece que se puede reducir equiproporcionalmente todos los outputs empleando los mismos inputs, si $\chi(\alpha y) \subseteq \chi(y) \forall \alpha \geq 1$.

A-6 Rendimientos constantes a escala, si una combinación (x, y) es factible, para cualquier $\alpha \geq 1, (\alpha x, \alpha y)$ será también factible.

Una vez propuesta la tecnología, se representa el problema de programación matemática cuya resolución conducirá a la medida de eficiencia de cada unidad. Se plantea el modelo original desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes (1978), con una orientación hacia los inputs y rendimientos constantes a escala, al que también se le denomina CCR.

Considerando un conjunto de n unidades que consumen p inputs $x = (x_1, \ldots, x_p) \in \mathbb{R}_+^p$ para producir q outputs $y = (y_1, ..., y_q) \in \mathbb{R}_+^q$, la eficiencia de la unidad 0 (que emplea un nivel de input x_{i0} para producir y_{r0}) puede obtenerse resolviendo el siguiente problema:

$$Max\ h_0 = \frac{\sum_{r=1}^{q} u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^{p} v_i x_{i0}} \tag{2.3}$$

$$\left.\begin{array}{ll} s.a. & \dfrac{\sum_{r=1}^{q} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{p} v_i x_{ij}} \leq 1 \qquad j = 0,1,2...,n \\ & u_i v_r \geq 0 \qquad r = 1,\ldots,q \quad i = 1,\ldots,p \end{array}\right\} \tag{2.4}$$

que implica encontrar los valores de las variables u_i y v_i que maximicen la medida de eficiencia de la unidad 0, h_0, sujeto a unas restricciones que exigen a la relación entre el input virtual y el output virtual ser menor o igual a uno para cada unidad.

Donde x_j e y_j indican los inputs y outputs de la unidad *j*; *u* y *v* son las ponderaciones virtuales dadas a cada uno de los inputs y outputs de cada una de las unidades. Este problema será resuelto individualmente para cada una de las *n* DMUs evaluadas.

Así, la medida de eficiencia relativa DEA-CCR consigue adaptar un entorno con múltiples inputs y outputs, a un entorno virtual con un único input y un único

output virtual, el cual es obtenido asignando ponderaciones a cada variable. Estas ponderaciones son diferentes para cada unidad y permiten maximizar la ratio inputs-outputs ponderada sujeta a unas restricciones que reflejan la actuación del resto de unidades evaluadas. Las restricciones (2.4) exigen que la relación entre el input virtual y el output virtual sea menor o igual a uno para cada unidad. El objetivo es calcular las ponderaciones que permiten que cada DMU alcance el máximo valor del índice.

Un valor del índice igual a la unidad implica que la unidad es eficiente y si obtiene un valor inferior a uno, la unidad es ineficiente pues existen otras unidades en la muestra que emplean los recursos en menor medida para obtener el mismo nivel de output, es decir, presentan un mejor comportamiento.

Esta formulación fraccional produce un número infinito de soluciones; si *(u*, v*)* es una solución óptima para una unidad, entonces *(α u*, αv*)* es también óptima para todo $\alpha > 0$. Por este motivo Charnes et al. (1978) transforman el índice, mediante la conversión lineal de Charnes y Cooper (1962), en un programa lineal seleccionando una solución *(u, v)* para la cual $\sum_{i=1}^{p} v_i x_{i0} = 1$. Dando lugar al problema de programación lineal equivalente para el cual, al considerar el denominador constante e igual a la unidad, el cambio de las variables *(u, v)* a $(\mu = u/\sum_{i=1}^{p} v_i x_{i0}$, $\upsilon = v/\sum_{i=1}^{p} v_i x_{i0})$ es un resultado de la transformación llevada a cabo. Además, se deben linealizar las restricciones.

$$Max.\ h_0 = \sum_{r=1}^{q} u_r y_{r0} \tag{2.5}$$

$$\left.\begin{array}{ll} s.a. & \sum_{r=1}^{q} \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{p} v_i x_{ij} \le 0 \qquad j = 1,...,n \\ & \sum_{i=1}^{p} v_i x_{io} = 1 \\ & \mu_r, v_i \ge 0 \quad r = 1,...,q \quad i = 1,...,p \end{array}\right\} \tag{2.6}$$

Igualmente, este programa será resuelto para cada unidad a evaluar. Las soluciones mostrarán el valor óptimo de los pesos μ_r y v_i.

Con posterioridad, Charnes et al. (1981) modificaron[34] el modelo original para dotarlo de mayor rigurosidad al remplazar la restricción de no negatividad de los pesos, $u_i, v_r \geq 0$, por la condición de que fuesen estrictamente positivos y mayores que ε (ε>0), donde ε es un elemento no-arquímedeo más pequeño que cualquier número real positivo. Esta condición garantiza que las soluciones serán positivas en esas variables (Cooper et al., 2011), evitándose que tomen valor cero para algún input u output y no sea considerado en el cálculo de la eficiencia.

La formulación multiplicativa o primal se puede expresar de forma dual, puesto que todo problema primal tiene otro dual asociado que puede utilizarse para conocer la solución del primal. Esta última formulación dual o envolvente ofrece una interpretación muy intuitiva que le hace ser la forma más extendida de plantear la estimación de la eficiencia técnica.

$$Min \quad \theta_0 \tag{2.7}$$

$$\left.\begin{array}{ll} s.a & \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_i - x_{i0}\theta_0 \leq 0 \quad i = 1,\ldots,p \\ & \sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j \geq y_{r0} \quad r = 1,\ldots,q \\ & \theta_0, \lambda_j \geq 0 \quad j = 1,\ldots,n \end{array}\right\} \tag{2.8}$$

De nuevo, para cada unidad a evaluar se buscará una combinación lineal de otras unidades que para producir al menos la misma cantidad de output consuman una proporción menor o igual de inputs. Las $p + q$ restricciones de (2.8) determinan lo especificado.

Para aquellas unidades que cumplan las restricciones el programa les asignará un valor λ_j distinto de cero, siendo λ_j las ponderaciones que indican el peso de cada unidad en el conjunto de referencia de la unidad evaluada.

[34] Ver Cooper et al. (2007) para la transformación y modificación de la expresión para ε>0.

El valor de θ, θ_0, es la puntuación en eficiencia de una determinada unidad, DMU_0, y expresa la máxima reducción equiproporcional posible de los inputs. Si su valor es uno indicará que la unidad está situada sobre la frontera $(\theta_0 x_0 = x_0)$ y, por lo tanto, es técnicamente eficiente. Si es menor a la unidad estará situada por debajo de la frontera $(\theta_0 x_0 < x_0)$ y se considerará ineficiente. En este caso, existirá una unidad, real o ficticia, de referencia que marcará las pautas de actuación de la DMU ineficiente para alcanzar la eficiencia, señalando θ la proporción en que debe ser reducido el consumo de inputs y seguir produciendo el mismo nivel de outputs.

Análogamente el modelo se puede reinterpretar para una orientación output, y su formulación matemática e interpretación se pude consultar en Cooper et al. (2007).

Sin embargo, como se ha comentado (subepígrafe *1.1.1.1.*, p.52) las medidas basadas en la fórmula desarrollada por Farrell pueden presentar holguras, es decir, aún existe la posibilidad de reducir el consumo de alguno de los inputs produciendo el mismo nivel de output, o incrementar alguno de los outputs. El modelo DEA permite detectar esas reducciones o incrementos adicionales mediante la incorporación de las variables de holgura[35].

Una posibilidad de plantearlo (Cooper et al., 2011) es utilizar los resultados del análisis DEA para llevar a cabo un nuevo programa lineal con las variables de holgura, cuya maximización traslada el punto de referencia a un punto de la frontera eficiente según Koopmans (Ali y Seiford, 1993).

$$
\begin{aligned}
& Max. \quad \left(\sum_r s_r^+ + \sum_i s_i^- \right) \\
s.a \quad & \sum_{j=1}^{n} x_{ij} \lambda_i + s_i^- = \theta_0 x_{i0} \qquad i = 1, \ldots, p \\
& \sum_{j=1}^{n} y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{r0} \qquad\qquad r = 1, \ldots, q \\
& \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall j, i, r
\end{aligned}
\tag{2.9}
$$

[35] Una discusión detallada se puede encontrar en Ali y Seiford (1993) y Coelli et al. (1998).

θ_0 es calculado inicialmente ignorando las holguras en (2.7,2.8). Ese valor óptimo se considera fijo, no es una variable en el problema (2.9), no viéndose afectado por $\left(s_i^-, s_r^+\right)$. Donde s_i^- son las variables de holgura de los inputs (representa el exceso en la cantidad de inputs), y s_r^+, las variables de holgura de los outputs (recogen el defecto en la cantidad de outputs).

El proceso seguido es equivalente a resolver el siguiente programa en dos pasos:

$$
\begin{aligned}
&Min. \quad \theta_0 - \varepsilon\left(\sum_r s_r^+ + \sum_i s_i^-\right) \\
&s.a \quad \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_i + s_i^- = \theta_0 x_{i0} \qquad i = 1,\ldots,p \\
&\qquad \sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - s_r^+ = y_{r0} \qquad\qquad r = 1,\ldots,q \\
&\qquad \lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall j,i,r
\end{aligned}
\tag{2.10}
$$

Las unidades que presenten un valor igual a la unidad ($\hat{\theta} = 1$) pero la suma de las holguras sea distinta de cero, serán débilmente eficientes puesto que aún es posible reducir el uso de algún input sin aumentar ningún otro; aquellas unidades en las que, además, la suma de las holguras sea cero se considerarán eficientes en sentido de Koopmans. La DMU será eficiente (100%) cuando $\widehat{\theta}$ sea igual a uno y la suma de las holguras sea igual a cero (Seiford y Thrall, 1990).

2.1.1. DEA bajo rendimientos variables a escala

El modelo-estimador CCR (DEA-CRS) especificado supone rendimientos constantes a escala, y solamente sería apropiado si todas las unidades operaran en una escala óptima. Si no fuese así los efectos de escala confundirían las medidas de eficiencia técnica.

Banker et al., (1984) proponen la extensión del modelo DEA-CCR para considerar rendimientos a escala variables, asegurando de esta forma que la DMU

evaluada se compare exclusivamente con aquellas que operan en la misma escala. A este modelo se suele denominar BCC, por las iniciales de los apellidos de sus autores, o DEA-VRS, por los rendimientos variables a escala.

Alternativamente el problema sería representado añadiendo al problema (2.7-8) una limitación adicional, la restricción de convexidad $\sum_{j=1}^{n} \lambda_i = 1$.

El problema de programación lineal con orientación hacia los inputs y VRS vendría dado por:

$$
\begin{aligned}
& Min. \theta_0 \\
& s.a \quad \sum_{j=1}^{n} x_{ij} \lambda_i - x_{i0} \theta_0 \leq 0 \quad i = 1, \ldots, p \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} y_{rj} \lambda_j \geq y_{r0} \qquad r = 1, \ldots, q \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_i = 1 \\
& \qquad \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \ldots, n
\end{aligned}
\tag{2.11}
$$

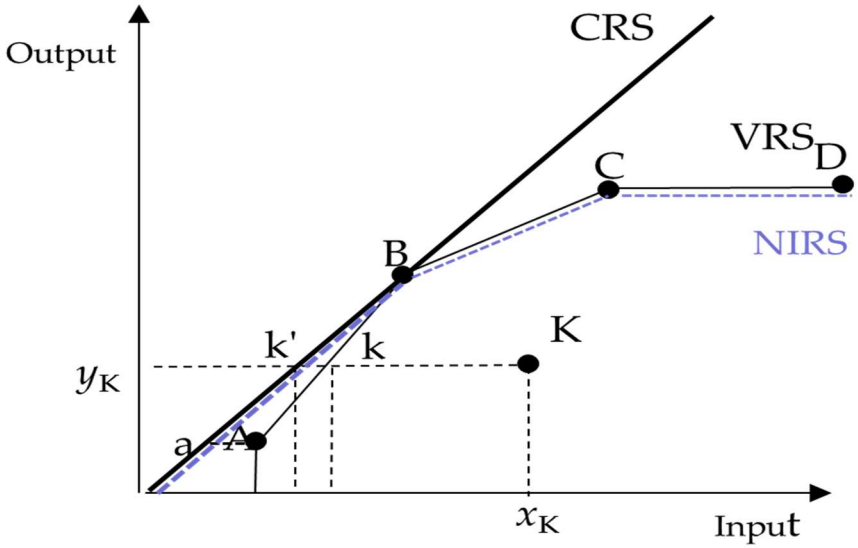
Normalmente, restricciones regulatorias, geográficas e institucionales hacen que las unidades no operen en una escala óptima. La inclusión de rendimientos variables a escala proveerá una medida de eficiencia técnica pura evitando el efecto de la eficiencia de escala.

En la representación gráfica (Figura 12) del modelo DEA con rendimientos constantes a escala (CCR o CRS) y rendimientos variables a escala (BBC o VRS) se observan las diferencias entre ambos, en el caso especial de la existencia de un único input y un único output. La frontera VRS es la envolvente convexa de las unidades observadas, por ello, envuelve los datos más estrechamente que la frontera CRS. En consecuencia, la estimación de la eficiencia bajo VRS es mayor que la estimada bajo CCR, $\hat{\theta}_{\text{VRS}} \geq \hat{\theta}_{\text{CRS}}$.

Bajo rendimientos variables a escala las mismas unidades son igual o más eficientes que bajo rendimientos constantes. Gráficamente, la diferencia entre las dos medidas es lo que proporciona la eficiencia de escala de la misma (obsérvese en la Figura 12).

Si se observa la unidad A, eficiente bajo VRS e ineficiente bajo CRS, se dirá que es eficiente técnicamente, pero padece ineficiencia de escala y ésta viene medida por la distancia aA. En cambio, la unidad B al ser eficiente bajo ambos, CRS y VRS, está operando en una escala óptima, y no existe ineficiencia de escala.

Figura 12. Frontera DEA-CCR y DEA-BCC. Eficiencia de escala



Fuente: Elaboración propia a partir de Banker et al. (1984)

La unidad K es ineficiente para ambos modelos, está situada por debajo de las dos fronteras. Ahora bien, si se comparase a la unidad K con todas las unidades de la muestra con independencia de la escala en la que operen, su medida de eficiencia vendría dada por $\hat{\theta}_{CCR}x_K$ que proyectaría a K al punto k´. Así, la medida de la ineficiencia estaría recogiendo la ineficiencia técnica y la de escala. Al considerar VRS la unidad es solamente comparada con aquellas que operan en la misma escala, por lo que la medida mostraría la ineficiencia técnica pura sin el efecto a escala. La distancia kk' mide la ineficiencia a escala de la unidad.

Sin embargo, esa medida de eficiencia de escala no indica qué tipo de rendimientos (crecientes, constantes o decrecientes) presenta la unidad. Con la finalidad de determinar la eficiencia a escala de la unidad y el tipo de rendimientos de escala se sustituye la restricción $\sum_{j=1}^{n}\lambda_i = 1$ en el problema de programación (2.11) por $\sum_{j=1}^{n}\lambda_i \leq 1$ estableciendo rendimientos no crecientes a escala (NIRS) (Färe et al., 1983a; Färe y GrossKopf, 1994).

Si el índice de eficiencia técnica-NIRS es distinto al índice VRS entonces la DMU opera bajo rendimientos crecientes a escala, si los índices coinciden entonces existen rendimientos decrecientes a escala. Si los tres índices coinciden CRS, VRS y NIRS presentará rendimientos constantes a escala (Färe et al., 1985).

Tanto la caracterización de la tecnología, como la resolución de los programas lineales no dan el verdadero valor de la magnitud, que es desconocido. Los modelos lo que establecen son estimadores con los que obtener una estimación de esas magnitudes. En la Tabla 2 se pueden ver los estimadores DEA expuestos.

Tabla 2. Estimadores DEA de orientación input

Valor real	**Estimador DEA-CRS**	
Ψ	$\hat{\Psi}_{CRS}(S_n)=\left\{(x,y)\in\mathbb{R}_+^{p+q}\,\middle\vert\, y\le\sum_n^n\lambda_jY_j, x\ge\sum_n^n\lambda_jX_j, \lambda_j\ge 0\forall j=1...n\right\}$	(2.12)
$\chi(y)$	$\hat{\chi}(y)_{CRS}=\left\{x\in\mathbb{R}_+^p\,\middle\vert\,(x,y)\in\hat{\Psi}_{CRS}\right\}$	(2.13)
$\chi^{\partial}(y)$	$\hat{\chi}^{\partial}(y)_{CRS}=\left\{x\,\middle\vert\, x\in\hat{\chi}(y)_{CRS}, \theta x\notin\hat{\chi}(y)_{CRS}\ \forall\theta\in(0,1)\right\}$	(2.14)
$\theta(x,y)$	$\hat{\theta}_{CRS}(x,y)=\min\left\{\theta\,\middle\vert\,\theta x\in\hat{\chi}(y)_{CRS}\right\}=\min\left\{\theta\,\middle\vert\,(\theta x,y)\in\hat{\Psi}_{CRS}\right\}$	(2.15)
	Estimador DEA-VRS	
Ψ	$\hat{\Psi}_{VRS}(S_n)=\left\{(x,y)\in\mathbb{R}_+^{p+q}\,\middle\vert\, y\le\sum_n^n\lambda_jY_j, x\ge\sum_n^n\lambda_jX_j, \sum_n^n\lambda_j=1, \lambda_j\ge 0\forall j=1...n\right\}$	(2.16)
$\chi(y)$	$\hat{\chi}(y)_{VRS}=\left\{x\in\mathbb{R}_+^p\,\middle\vert\,(x,y)\in\hat{\Psi}_{VRS}\right\}$	(2.17)
$\chi^{\partial}(y)$	$\hat{\chi}^{\partial}(y)_{VRS}=\left\{x\,\middle\vert\, x\in\hat{\chi}(y)_{VRS}, \theta x\notin\hat{\chi}(y)_{VRS}\ \forall\theta\in(0,1)\right\}$	(2.18)
$\theta(x,y)$	$\hat{\theta}_{VRS}(x,y)=\min\left\{\theta\,\middle\vert\,\theta x\in\hat{\chi}(y)_{VRS}\right\}=\min\left\{\theta\,\middle\vert\,(\theta x,y)\in\hat{\Psi}_{VRS}\right\}$	(2.19)
	Estimador DEA-NIRS	
Ψ	$\hat{\Psi}_{NIRS}(S_n)=\left\{(x,y)\in\mathbb{R}_+^{p+q}\,\middle\vert\, y\le\sum_n^n\lambda_jY_j, x\ge\sum_n^n\lambda_jX_j, \sum_n^n\lambda_j\le 1, \lambda_j\ge 0\forall j=1...n\right\}$	(2.20)
$\chi(y)$	$\hat{\chi}(y)_{NIRS}=\left\{x\in\mathbb{R}_+^p\,\middle\vert\,(x,y)\in\hat{\Psi}_{NIRS}\right\}$	(2.21)
$\chi^{\partial}(y)$	$\hat{\chi}^{\partial}(y)_{NIRS}=\left\{x\,\middle\vert\, x\in\hat{\chi}(y)_{NIRS}, \theta x\notin\hat{\chi}(y)_{NIRS}\ \forall\theta\in(0,1)\right\}$	(2.22)
$\theta(x,y)$	$\hat{\theta}_{NIRS}(x,y)=\min\left\{\theta\,\middle\vert\,\theta x\in\hat{\chi}(y)_{NIRS}\right\}=\min\left\{\theta\,\middle\vert\,(\theta x,y)\in\hat{\Psi}_{NIRS}\right\}$	(2.23)

Esos estimadores DEA son sesgados por construcción dado que $\hat{\Psi}_{VRS} \subseteq \hat{\Psi}_{NIRS} \subseteq \hat{\Psi}_{CRS} \subseteq \Psi$, es decir, el CPP real es mayor al estimado. Por tanto, su límite superior o frontera estará por encima de la estimada, la frontera estimada DEA es una estimación sesgada hacia abajo de la frontera real. Esa relación implica que las medidas de eficiencia estimadas sean una estimación sesgada al alza del valor real, $\hat{\theta}_{VRS}(x,y) \geq \hat{\theta}_{NIRS}(x,y) \geq \hat{\theta}_{CRS}(x,y) \geq \theta(x,y)$.

Las estimaciones obtenidas a partir de los estimadores de la tabla 2 ¿reflejan realmente el verdadero valor de esas magnitudes? Esto va a depender de las propiedades estadísticas que posea el estimador.

2.2. PROPIEDADES ESTADÍSTICAS DEL ESTIMADOR DEA

El análisis estadístico que se presenta se basa en el trabajo desarrollado por Simar y Wilson (2000a, 2011a, 2013, 2015), y aquí solamente se expondrán las propiedades estadísticas de los estimadores DEA, mientras que los trabajos de Simar y Wilson abarcan también el estimador no paramétrico FDH, y ofrecen adicionalmente la bibliografía donde se aborda este tema para los estimadores hiperbólico y direccional.

2.2.1. Consistencia

La estimación del CPP, de la tecnología y del estimador de la medida de eficiencia se realiza a partir de una muestra de observaciones, $S_n = \{(X_j, Y_j), j = 1,...n\}$. Las magnitudes reales son desconocidas y, en consecuencia, el estimador de eficiencia mide la eficiencia en relación a una frontera construida a partir de un conjunto alcanzable estimado (Simar y Wilson, 2015).

Además, las estimaciones que se llevan a cabo a través de la metodología DEA, como se ha señalado, tienen un carácter determinístico y, por tanto, no incorporan una perturbación del ruido estadístico (por ejemplo, errores de medida o factores fuera del control de la unidad o el carácter aleatorio de la muestra).

Por ello, una de las principales limitaciones que se les atribuyen a los modelos DEA de medida de la eficiencia relativa es su elevada sensibilidad tanto a la especificación del modelo o selección de variables como a la existencia de errores de medida o existencia de valores atípicos o extremos y el ruido estadístico. Si se

pudiese realizar un análisis estadístico de los estimadores y estimaciones DEA se tendría garantía sobre los resultados obtenidos. Al no ser un modelo econométrico durante años se han ignorado las propiedades estadísticas del estimador pero los últimos avances en la materia hacen posible la inferencia estadística bajo este enfoque no paramétrico (ver Simar y Wilson 2013, 2015).

Simar (1992, 1996) y Simar y Wilson (1998, 2000a, 2007, 2011a, 2013, 2015) recalcan en gran parte de sus trabajos que para considerar las propiedades estadísticas de los estimadores no paramétricos y poder hacer inferencia es necesario una correcta definición del proceso generador de datos (PGD), es decir, la descripción teórica del mecanismo que produce los datos de la muestra S_n. El modelo estadístico definido será el que describa el PGD.

La formulación de un modelo estadístico incluye el establecimiento de los supuestos sobre el conjunto de producción y la distribución de los vectores de inputs y outputs (x, y) sobre el CPP, la caracterización de la frontera y la función de densidad del residuo o eficiencia.

Los primeros esfuerzos por desarrollar procedimientos estadísticos en el estimador no paramétrico DEA fueron llevados a cabo por Banker (1993), quien, para el caso de un único input[36], define la relación de producción con la inclusión de una variable aleatoria, independiente e idénticamente distribuida u, que representa la ineficiencia técnica de la unidad j. Imponiendo a la función de densidad de u_j las condiciones necesarias para que el DEA sea equivalente a un modelo de máxima verosimilitud consiguió demostrar su consistencia[37] pero no obtuvo la ratio de convergencia[38].

[36] En una orientación hacia los inputs. Para un único output, en el caso de una orientación hacia los outputs.

[37] De manera genérica, el estimador de un parámetro es consistente si converge al verdadero valor del parámetro cuando el tamaño de la muestra tiende a infinito. La noción de convergencia en probabilidad hace referencia a la probabilidad de que la diferencia entre el estimador y el valor real sea positiva es cero cuando el tamaño de la muestra tiende a infinito. Si un estimador converge en probabilidad es débilmente consistente, es una propiedad asintótica, sólo describe lo que ocurre en el límite.

[38] De nuevo de forma genérica para aquellos lectores que desconozcan el término, la ratio de convergencia indica la velocidad con la que el estimador converge al verdadero valor.

La consistencia del estimador DEA del CPP(Ψ)fue demostrada por Korostelev et al. (1995b) caracterizando el proceso generador de datos (libre disponibilidad, uniformidad[39] de la densidad conjunta de (x,y) sobre Ψ) y definiendo la ineficiencia como una variable aleatoria asimétrica para el caso de un input y múltiples outputs. Bajo estos supuestos obtienen la ratio de convergencia del conjunto de producción factible estimado, $\hat{\Psi}_{DEA}$ que, utilizando la medida Lebesgue para analizar la diferencia entre el valor estimado y el verdadero valor del conjunto de producción, en una muestra infinita será igual a $O_p\,(n^{-2/(2+q)})$.

Aunque bajo el marco establecido Korostelev et al. (1995 b) muestran que $\hat{\Psi}_{DEA}$ es el mejor estimador con la mejor ratio de convergencia posible. Se observa como a medida que aumenta q (el número de outputs) la ratio se hace más lenta (más pequeña). Esto es debido a la llamada "maldición de la dimensionalidad", que empeora la consistencia del estimador conforme aumenta la dimensión $(p+q)$; para evitarlo el número de datos debe aumentar conforme aumenta q . Esta cuestión fue analizada mediante experimentos Monte Carlo por Kittelsen (1995) señalando que el sesgo del estimador DEA, se incrementa con la dimensionalidad, y decrece con el tamaño muestral.

Fueron Kneip et al. (1998) quienes en un contexto de múltiples inputs y outputs demostraron la consistencia del estimador DEA-VRS. Para ello, definen el modelo estadístico que caracteriza el PGD asumiendo: convexidad del CPP (Ψ), libre disponibilidad, función de densidad conjunta $f(x,y)$ estrictamente positiva en la frontera, densidad continua para las unidades (x,y) en un entorno cercano a la frontera, y suavizado de la frontera[40]. Bajo estos supuestos obtienen que para cualquier punto $(x,y)\in\Psi$ la ratio al que la función de distribución converge a su verdadero valor es

---

La ratio suele expresarse como n^{α}, donde α indica el orden estocástico del error de estimación. El valor α=1/2, es el que obtienen normalmente los estimadores paramétricos por lo que puede ser usado como referencia.

[39] Relaja este supuesto (uniformidad de la distribución) respecto a su trabajo inicial (1995a).

[40] El suavizado de la frontera en este caso es hecho a partir de las características de la misma, en concreto, en base a las medidas de eficiencia definidas por Farrell (función de eficiencia en input $\theta\,(x,y)$)

$$\hat{\theta}_{DEA-VRS}(x,y) - \theta(x,y) = O_p\left(n^{-\frac{2}{p+q+1}}\right) \tag{2.24}$$

Más recientemente, Park et al. (2010) analizan las propiedades de convergencia del estimador DEA bajo CRS a lo largo de toda la frontera, estableciendo que

$$\hat{\theta}_{DEA-CRS}(x,y) - \theta(x,y) = O_p\left(n^{-\frac{2}{p+q}}\right) \tag{2.25}$$

Esta ratio de convergencia mejora respecto al de DEA-VRS. No obstante, incluso DEA-VRS consigue esa ratio si la frontera muestra globalmente CRS (Kneip et al., 2016).

Estas ratios también sufren de dimensionalidad, en este caso tanto al aumentar el número de inputs p, como el de outputs q. El incremento de la dimensión $(p+q)$ lleva, salvo para muestras muy elevadas, a la imprecisión del estimador, en el sentido de un elevado sesgo, varianza y amplitud de los intervalos de confianza (Simar y Wilson, 2013).

Consecuentemente, hay que ser cuidadoso a la hora de realizar aplicaciones empíricas e interpretar sus resultados. Varios autores han intentado establecer alguna relación entre el número de variables a incluir en el modelo y el número de observaciones necesarias. En este sentido, Banker et al. (1989) especifican que el número de unidades valoradas debería ser al menos tres veces el número de variables incluidas en el modelo. Cooper et al. (2007) señalan que las unidades a evaluar deben ser en una cantidad igual a la resultante de multiplicar el número de inputs por el número de outputs. Esas técnicas no se sustentan en ninguna base teórica o empírica y pueden ser demasiado generosas, si bien útiles en el caso de que el objetivo del estudio sea conseguir información general sobre la eficiencia media de algún sector y no se pretenda obtener información más detallada sobre índices individuales o rankings de eficiencia (Pedraja et al., 2005). Sin embargo, Cook et al. (2014) señalan que si el DEA es empleado como herramienta de evaluación comparativa enfocándose en el rendimiento individual de una DMU el tamaño de la muestra no es un punto crítico como puede ser en un análisis de regresión estadística.

Aunque con el establecimiento de tales reglas no es posible establecer un determinado error cuadrático medio de los estimadores no paramétricos puesto

que dependen de constantes desconocidas, a efectos de estimación se debería incrementar el número de observaciones en una ratio exponencial respecto al aumento del número de dimensiones (Simar y Wilson 2013).

En 2018 Wilson presenta un trabajo, basado en el análisis factorial propuesto por Daraio y Simar (2007a), donde analiza tres métodos que permiten evaluar cuando una reducción de la dimensión puede favorecer una estimación de la eficiencia más precisa.

2.2.2. Distribución muestral en el límite

Además de necesitar que el estimador sea consistente, para llevar a cabo inferencia de forma coherente es necesario conocer la distribución muestral asintótica del estadístico.

Gijbels et al. (1999) obtienen por primera vez la distribución asintótica de la eficiencia cuando $p = q = 1$. Sus resultados les permiten estimar el sesgo asintótico de la frontera, la varianza asintótica y, por tanto, construir intervalos de confianza. No obstante, la distribución límite será conocida para unas constantes que dependen de la caracterización del PGD- la curvatura de la frontera y el valor de la función de densidad en el punto $\left(\theta(x,y)x,y\right)$ de la verdadera frontera- que deben ser estimadas previamente y, por tanto, condicionarán los resultados asintóticos. Las propiedades obtenidas para la frontera pueden trasladarse a la medida de eficiencia para (x_0, y_0) simplemente cambiando las variables, en base a la relación $\hat{\theta}(x_0, y_0) = \chi^{\partial}(y_0) / x_0$.

La curvatura de la frontera afecta a la ratio de convergencia de forma que a mayor curvatura mayor es el sesgo y menor la velocidad de convergencia al estimador real. En cambio, el sesgo decrece cuando la densidad del punto $\left(\theta(x,y)x,y\right)$ incrementa. La varianza del estimador se comporta de forma similar y los resultados de estos autores revelan que en la mayoría de los casos el sesgo es mayor que la varianza. Es decir, el sesgo es más importante a la hora de determinar el error medio cuadrático.

A la misma conclusión llegan Kneip et al. (1998) al señalar que el grado de suavidad de la verdadera frontera influye en la velocidad de convergencia del estimador DEA.

La distribución muestral asintótica es obtenida, pero, como Simar y Wilson (2000a) señalan, usar esos estimadores introduce un ruido adicional a los resultados asintóticos debido a la presencia de las constantes desconocidas a estimar; por otra parte, la complejidad del análisis para el simple caso univariante avanza que esta será mayor al considerar un caso multivariante.

Ampliando los resultados obtenidos por Gijbels et al. (1999), Jeon y Park (2006) obtienen resultados asintóticos para una dimensión de datos mayor, $p = 1, q > 1$ en una orientación hacia los inputs. Aunque el procedimiento no es sencillo debido a la complicada configuración del estimador del dominio convexo $\hat{\Psi}_{DEA}$ para dimensiones mayores a la univariante, los autores lo consiguen gracias a una transformación cardinal del sistema de coordenadas.

Con posterioridad, serán Kneip et al. (2008) los que consigan ofrecer la distribución asintótica del estimador DEA-VRS en un contexto de múltiples inputs y outputs. Así, mediante una nueva forma de caracterizar a los índices de eficiencia DEA y estableciendo que el estimador DEA para un determinado punto viene dado por las observaciones localizadas en una pequeña zona de la proyección del punto sobre la frontera (Kneip et al. 2008). La distribución asintótica de

$$n^{\frac{2}{p+q+1}}\left(\hat{\theta}_{DEA-VRS}(x,y)-\theta(x,y)\right) \tag{2.26}$$

es caracterizada como

$$F_x(\eta)=\lim_{n\to\infty}\text{Prob}\left[n^{2/(p+q+1)}\left(\frac{\hat{\theta}_{DEA-VRS}(x,y)}{\theta(x,y)}-1\right)\leq\eta\right] \tag{2.27}$$

Siendo $F_x(\eta)$ una función de distribución continua, con parámetros desconocidos (η) que dependen de cantidades desconocidas que caracterizan el PGD. Si los parámetros fuesen conocidos los cuantiles de la distribución asintótica podrían ser estimados mediante experimentos Monte Carlo. Pero como los propios autores señalan, supone una gran dificultad (Kneip et al., 2008), por lo que los resultados son de poca utilidad para hacer inferencia (Simar y Wilson, 2013).

De forma similar, Park et al. (2010) demuestran la distribución asintótica del estimador DEA bajo rendimientos constantes a escala.

$$n^{\frac{2}{p+q}}\left(\hat{\theta}_{DEA-CRS}(x,y)-\theta(x,y)\right)\xrightarrow{d}F_{CCR}(\eta) \tag{2.28}$$

Que para el caso de p=q=1 es una distribución exponencial; en el caso de más dimensiones, utilizan el suavizado de parámetros para simular la distribución, de nuevo, vuelve a ser difícil llevarlo a cabo en la práctica.

Ante la complejidad de obtener de forma analítica las propiedades de muestreo de los estimadores en contextos multivariables parece que el único modo de inferir esas propiedades, es decir, estimar el sesgo, la varianza y construir intervalos de confianza es a través de las técnicas bootstrap (Simar y Wilson, 2000b, 2013, 2015). Estas técnicas se revelan fundamentales en cualquier aplicación empírica debido a la existencia de términos desconocidos en la distribución asintótica de los estimadores (Keinp et al., 2008).

2.2.3. Técnicas bootstrap

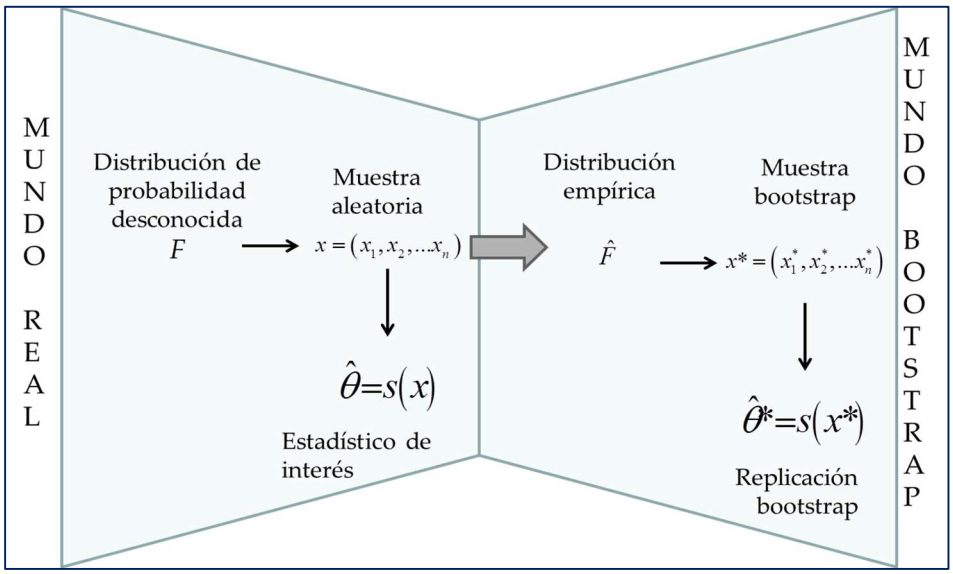
Como se ha señalado, el hecho de que la metodología DEA sea de carácter determinístico la hace muy sensible a los errores de medida (Sexton et al., 1986) y a la variabilidad de la muestra utilizada para la estimación. La imposibilidad de aplicar análisis estadísticos, al no ser econométrico, hace imposible comprobar la robustez de los resultados obtenidos.

Asimismo, los obstáculos asociados al uso de los resultados asintóticos vistos en el apartado anterior señalan al procedimiento bootstrap como la única manera de aproximar la distribución de los estadísticos calculados mediante el DEA. Recientemente, Parmeter et al. (2024, p. 4) concluyen que en el contexto no paramétrico *la inferencia es desafiante, pero posible bajo la suposición de separabilidad junto con un bootstrap adecuado*.

Esta técnica fue desarrollada por Efron (1979) y se basa en la idea de replicar el PGD de forma intensiva para estimar la forma de la distribución muestral de los estadísticos poblacionales. El fundamento del bootstrap se apoya en el principio de analogía existente entre la muestra y la población de la que procede. Según esto sería razonable extraer conclusiones sobre la población en base a lo observado en la muestra.

De forma intuitiva, se diría que la técnica desarrolla un mundo bootstrap imitando al real, lo que permite aproximar la función de distribución de la eficiencia técnica (ver Figura 13).

Figura 13. Diagrama bootstrap



Fuente: a partir de Efron y Tibshirami (1993, p.91)

Interpretando el gráfico de la Figura 13, en el mundo real sólo se conoce una muestra aleatoria de datos $x=(x_1,x_2,...,x_n)$ que procede de una distribución de probabilidad desconocida F y es usada para definir el estadístico de interés $\hat{\theta}=s(x)$. En cambio, en el mundo bootstrap la distribución $\hat{F}$ es conocida a partir de la muestra $x=(x_1,x_2,...,x_n)$, por tanto, estimado el PGD del modelo y utilizándose para crear muestras bootstrap de forma intensiva, se obtendrá el estadístico $\hat{\theta}^*=(x^*)$. Para cada punto observado x_i en el mundo real se tiene una estimación $\hat{\theta}$, pero en el mundo bootstrap se tendrán tantas estimaciones $\hat{\theta}^{b*}$ como replicaciones $(b=1,2,...,B)$ del proceso sea posible hacer. Así, basándose en la analogía de los dos mundos, se podrá conocer rasgos sobre el comportamiento estadístico del estimador $\hat{\theta}=s(x)$ en base a lo que se conoce de $\hat{\theta}^*=(x^*)$.

El momento crítico es generar la muestra bootstrap a partir del PGD desconocido pero caracterizado por el conjunto de posibilidades de producción Ψ y la función de densidad conjunta de la muestra $f(x,y)$. Por ello, el primer paso es

proporcionar un PGD adecuado que permita al bootstrap imitar la distribución muestral del estadístico de interés (Simar, 1996).

El sencillo algoritmo inicialmente establecido por Efron (1979), conocido como "*bootstrap naive*", es inconsistente para estimar funciones fronteras, pues el estimador es inconsistente en las zonas próximas a la frontera por estar la función de densidad acotada entre (0,1] y ser discontinua en 1. Es decir, normalmente el estimador DEA califica un elevado número de unidades como eficientes, $\hat{\theta}_j = 1$ (será mayor conforme aumente *p).* Entonces, la función de distribución empírica $\hat{F}$ será una pobre estimación de *F* cerca del límite superior de su soporte (Efron y Tishirani, 1993). En consecuencia, cerca del límite superior (la frontera) $\hat{F}$ no es un estimador consistente de *F*. A partir de este trabajo se han propuesto otras alternativas para intentar solucionar esos problemas y poder aplicarlo en el análisis de la eficiencia.

Simar (1992) es el primero en aplicarlo en el contexto del análisis de la eficiencia usando datos panel, precisando este enfoque que la eficiencia permanezca constante en el tiempo. Sin embargo, fue en 1998 cuando Simar y Wilson aplican técnicas bootstrap a las estimaciones DEA-VRS. Como se ha visto en el apartado anterior, $\hat{\Psi}_{DEA}$ es un estimador consistente de Ψ, entonces la eficiencia técnica radial en inputs para cualquier punto de interés (x, y) se estimará mediante $\hat{\theta}_{VRS}(x, y)$. Asimismo, ellos muestran como la analogía del PGD puede aproximar la variación muestral de la frontera estimada, permitiendo así, analizar la sensibilidad del índice de eficiencia de la unidad de interés proporcionando intervalos de confianza y correcciones para el sesgo inherente en las estimaciones DEA. De tal forma que, si el procedimiento bootstrap es consistente, entonces cuando $n \to \infty$,

$$n^{2/(p+q+1)}\left(\hat{\theta}^*(x,y) - \hat{\theta}(x,y)\right) \overset{aprox}{\sim} n^{2/(p+q+1)}\left(\hat{\theta}(x,y) - \theta(x,y)\right) \quad (2.29)$$

En Simar y Wilson (1998) utilizan un bootstrap suavizado para estimar el sesgo de las estimaciones de eficiencia y corregir el estimador original. Para ello asumen que la distribución de la ineficiencia es homogénea en el espacio input-output a lo largo de la dirección elegida (rayos input, en una orientación hacia los inputs).

Dada una muestra de combinaciones inputs y outputs, construyen una muestra bootstrap suavizando la distribución empírica $\hat{F}$ para solucionar el problema señalado en el *bootstrap naive*. A partir del estimador de densidad kernel[41] y del método de reflexión de Silverman (1986), que soluciona el problema del acotamiento, obtienen el estimador $\hat{F}$ consistente. Así, extrayendo un conjunto de valores $\left\{\theta_j^*\right\}_{j=1}^{n}$, la muestra bootstrap es construida mediante el establecimiento, para cada *j*, de $X_j^* = \hat{\theta} X_j \big/ \theta^*$ y $Y_j^* = Y_j$. Una vez obtenida la muestra bootstrap S_n^* , se puede calcular las estimaciones $\hat{\theta}_j^*$. Repitiendo esto B veces se obtiene un conjunto de estimaciones bootstrap $\left\{\hat{\theta}_{jb}^*\right\}_{b=1}^{B}$ que puede ser utilizado, junto con los correspondientes $\hat{\theta}_j$ para construir intervalos de confianza para la θ_j .

Simar y Wilson (2000b) extienden el modelo más restrictivo de Simar y Wilson (1998) permitiendo una mayor heterogeneidad en la estructura de la eficiencia. El método es más complejo (Simar y Wilson, 2013), pero al igual que en Simar y Wilson (1998), una vez obtenidas las B estimaciones bootstrap para la unidad (x,y), $\hat{\theta}_b^*(x,y)$, se puede calcular la estimación del sesgo bootstrap para el estimador original:

$$\hat{sesgo}^*\left(\hat{\theta}(x,y)\right) = \frac{1}{B}\sum_{b=1}^{B}\hat{\theta}_b^*(x,y) - \hat{\theta}(x,y) \qquad (2.30)$$

Este sesgo será análogo al sesgo del estimador original respecto al verdadero valor del índice. Entonces el estimador $\hat{\theta}(x,y)$ puede ser corregido. Esta corrección se realizará para cada una de las unidades de la muestra.

Simar y Wilson (1998, 2000b) advierten al investigador que esta corrección puede aumentar el ruido de la estimación, por lo que no aconsejan la rectificación si el error cuadrático medio del estimador corregido supera el del estimador original[42]. Los valores $\hat{\theta}_b^*(x,y)$ también pueden ser usados para estimar intervalos

---

[41] El estimador de densidad kernel depende del parámetro de suavizado o bandwidth, *h*, donde valores elevados de *h* producen más suavidad en la estimación de la densidad y *h* pequeños da lugar a múltiples modos en la densidad estimada, como consecuencia el sesgo del estimador kernel incrementa y la varianza decrece con h (Simar y Wilson, 1998). La elección de un valor *h* óptimo es fundamental (ver Silverman, 1986).

[42] En concreto no recomiendan la modificación salvo que la varianza del estimador original $\hat{\sigma}^2$, sea menor que la tercera parte del cuadrado del sesgo estimado.

de confianza (ver Simar y Wilson, 1999) y aproximar la distribución asintótica de $\hat{\theta}(x,y)-\theta(x,y)$ (ver 2.25).

Los métodos bootstrap propuestos por Simar y Wilson (1998, 2000b) han sido la única forma de hacer inferencia sobre la eficiencia basada en los estimadores DEA en entornos con múltiples inputs y outputs, pero la consistencia de esos métodos no había sido demostrada. Kneip et al. (2008) establece por primera vez los resultados asintóticos del estimador $\hat{\theta}_{VRS}$ para un punto (x,y) y demuestra la consistencia de dos procedimientos bootstrap para hacer inferencia sobre θ: uno basado en el submuestreo y otro en el suavizado.

La técnica basada en el submuestreo extrae muestras bootstrap de un tamaño $m < n$. Como resultado, la cobertura de los intervalos de confianza es muy sensible al tamaño de la submuestra. La elección de *m* es fundamental, pues un tamaño subóptimo puede perjudicar gravemente la cobertura de los intervalos de confianza estimados (Kneip et al., 2008).

Simar y Wilson (2011a) a partir de Kneip et al. (2008) y Politis et al. (2001) establecen la consistencia del bootstrap mediante submuestro para construir intervalos de confianza de los estimadores no paramétricos. Además, ofrecen un método para la elección óptima del tamaño del submuestro *m*, y sus simulaciones muestran que el método funciona bien para estimar intervalos de confianza con coberturas cercanas a la nominal.

El segundo enfoque en Kneip et al. (2008) propone un alisado tanto en la distribución de las observaciones (al igual que en Simar y Wilson, 1998, 2000b) como en la propia frontera. Esta segunda técnica complica el proceso.

Posteriormente, Kneip et al. (2011) proponen un nuevo modelo bootstrap de doble suavizado que evita los problemas computacionales del anterior, realizando un tratamiento diferente a los puntos dependiendo de si están cerca o alejados de la frontera. Esto hace necesario establecer una región a lo largo de la frontera estimada, el tamaño de la misma es establecido por un parámetro bandwidth.

2.3. MODELOS DEA ALTERNATIVOS

En este epígrafe se pretende dar una somera visión[43] de las principales alternativas surgidas a lo largo de los 46 años de existencia del DEA. Se excluye de este epígrafe el tratamiento de los factores exógenos, que será objeto de estudio más detallado en el capítulo tres de esta investigación.

La evolución viene marcada, fundamentalmente, por la intención de superar las limitaciones de los modelos básicos (CCR y BCC) o para dar respuesta a las lagunas encontradas en los modelos tras las aplicaciones empíricas.

2.3.1. Modelo aditivo

Propuesto por Charnes et al. (1985b) y denominado también como Pareto-Koopmans trata de superar la limitación de los modelos envolventes DEA básicos (radiales, CCR y BCC) que si bien cumplen con la definición de eficiencia de Farrell (1957) no necesariamente cumplen con la de Koopmans[44] (1951), en el sentido de que no toman en consideración toda la ineficiencia y una unidad puede ser clasificada como eficiente cuando existen holguras en inputs (exceso de inputs) o/y en outputs (escasez de outputs). Además, los índices obtenidos por estos modelos radiales ofrecen a las unidades ineficientes cambios proporcionales de todos los inputs u outputs para alcanzar la frontera, puesto que reflejan la máxima reducción (aumento) proporcional de los inputs (outputs).

El modelo aditivo presenta una orientación conjunta tanto a inputs como a outputs, buscando la minimización del consumo de inputs y la maximización de los outputs simultáneamente, considerando todas las ineficiencias que el modelo identifica (Cooper et al., 1999a). Es una medida no radial, pues la proyección de un punto a la frontera no se realiza a través del radiovector que sale del origen, sino

[43] El objetivo es simplemente hacer consciente al lector del crecimiento de la metodología, presentando las principales líneas de desarrollo y sus primeras referencias bibliográficas. La exhaustiva presentación de las modificaciones y alternativas al modelo original supondría en sí misma una extensa investigación, quedando fuera del objetivo de este trabajo. Un desarrollo más exhaustivo se puede ver en Cooper et al. (2007), Cook y Seiford (2009), Zhu (2014), Tone (2017a) y Emrouznejad et al. (2022).

[44] Ver la sección 1.1.1.1 de este trabajo.

que es proyectado en cualquier dirección dentro del cuadrante formado por los puntos sobre la frontera a los cuales proyecta cada una de las orientaciones (input/ output). Este hecho es el que diferencia al modelo aditivo respecto al BCC cuyas superficies envolventes coinciden (las mismas unidades son consideradas eficientes) y sólo difieren en la proyección de las ineficientes sobre la frontera (Ali y Seiford, 1993). Entre los principales inconvenientes que presenta el modelo de Charnes et al. (1985b) destacan que no es invariante a las unidades de medida, no da un escalar como medida de la eficiencia per se y no profundiza en la ineficiencia detectada (Tone, 2001). Además, al maximizarse la suma de las holguras el conjunto de referencia que ofrece puede no ser apropiado para la evaluación de la DMU al estar muy alejado (Coelli, 1998).

Una variante del modelo aditivo que supone un intento de resolver dos de los inconvenientes presentados, el hecho de que la función objetivo no sea invariante a las unidades de medida y el de no proveer un índice de eficiencia final, es la medida propuesta por Cooper et al. (1999a), RAM (Range Adjusted Measure). Sin embargo, tampoco está exento de problemas ya que presenta alta sensibilidad a los valores máximos y mínimos de los inputs y outputs e incongruencias bajo rendimientos constantes a escala (Thanassoulis et al., 2008).

2.3.2. Modelos basados en holguras

Tone[45] (2001), se plantea una medida de eficiencia escalar e invariante a las unidades de medida de los datos que trata directamente las holguras denominada Slacks-Based Measure (SBM). De tal forma que bajo el modelo SBM de eficiencia, invariante y monótono decreciente en las holguras, una DMU será considerada eficiente si y sólo si la solución es óptima, lo que equivale a decir que su índice es igual a 1 y todas las holguras iguales a cero. La medida se determina solamente por su conjunto de referencia, por tanto, el índice no se ve afectado por los valores de unidades ajenas al mismo.

A las unidades clasificadas como ineficientes, SBM les indica el camino a seguir para alcanzar la eficiencia, así disminuyendo los inputs en el exceso señalado por la holgura en inputs y aumentando el output en la holgura por escasez de

[45] ver también Pastor et al. (1999)

output se obtiene la proyección SBM de la unidad sobre la frontera. El modelo proyecta la unidad ineficiente al punto más alejado (ya que el objetivo es minimizar la función encontrando las máximas holguras) lo que puede provocar la imposibilidad de ser alcanzado por la unidad en su situación actual. Tone plantea imponer límites restringiendo el área alcanzable de las holguras a una región de seguridad (SBM-AR). Una de las ventajas que ofrece el modelo SBM es la interpretación que puede hacerse de su programa dual como maximización de beneficios.

Una modificación de este modelo, Super-SBM (Tone, 2002), permite discriminar entre unidades eficientes, evaluando la eficiencia de estas unidades tomando como referencia el punto más cercano sobre la frontera excluyéndose a sí mismo. También, se han planteado variaciones para superar las deficiencias que planteaba el hecho de que la unidad ineficiente fuese proyectada al punto en la frontera más alejado dentro de un rango, dando como resultado un peor índice de eficiencia y que la unidad de referencia pudiese ser inalcanzable para la unidad ineficiente (ver Tone, 2010, 2015, 2017b).

Así, en 2010 Tone propone cuatro variantes de su modelo original con la intención de solventar el inconveniente del modelo original mediante la investigación de la estructura de la frontera del conjunto de posibilidades de producción. Estas suponen un esfuerzo computacional importante, por lo que en 2015 plantea un nuevo escenario que, si bien, no siempre obtiene el punto más cercano y tampoco siempre es eficiente Pareto-Koopmans si limita el número de programas lineales adicionales a realizar para las DMUs ineficientes. En el modelo SBM- Max (Tone, 2015) el índice es mayor que en SBM.

2.3.3. Modelo multiplicativo

En los modelos básicos y aditivos la superficie envolvente es lineal por tramos; sin embargo, es posible establecer otro tipo de superficies (Ali y Seiford, 1993). Así, si en lugar de utilizar combinaciones aditivas de inputs y outputs se emplean combinaciones multiplicativas, se obtienen los modelos multiplicativos.

Planteados por Charnes et al. (1982) se obtienen al aplicar logaritmos sobre los valores originales en el modelo aditivo. La superficie envolvente definida por este modelo es una función Cobb-Douglass por tramos.

2.3.4. Modelos multinivel

En determinadas situaciones se puede tener interés no en evaluar el nivel de eficiencia de una determinada DMU en un momento del tiempo sino analizar estructuras internas de las DMUs o que implican múltiples niveles.

Se pueden distinguir: (a) modelos que buscan examinar el funcionamiento interno de un proceso productivo, denominados *Network* DEA (Färe y Whittaker,1995; Färe y Grosskopf, 1996, 2000); (b) analizar la eficiencia global de una cadena de suministros (comprador- proveedor) donde la eficiencia de uno de los miembros de la cadena puede afectar a la eficiencia de otros miembros (Seiford y Zhu, 1999; Chen y Zhu, 2004); (c) modelos multicomponentes o paralelos que analizan actividades que se desarrollan simultáneamente compartiendo recursos (Besley, 1995; Cook et al., 2000; Portela y Thanassoulis, 2007); y (d) aquellos desarrollados para analizar estructuras jerarquizadas o anidadas (Cook et al., 1998).

2.3.5. Modelos que imponen restricciones en los multiplicadores

La flexibilidad total que caracteriza a los multiplicadores de la metodología DEA permite que cada DMU sea valorada de la mejor manera posible. En ocasiones, esta flexibilidad puede tener consecuencias indeseables, llevando a clasificar a una DMU como eficiente injustificadamente (al haber asignado valores excesivamente altos o bajos a los multiplicadores en el afán de que su índice de eficiencia sea lo más alto posible). En este sentido, las aplicaciones empíricas utilizando DEA revelan una prevalencia de ponderaciones con valor cero (o ε), estableciéndose en consecuencia que esas variables no influyen en el índice de eficiencia, y la excesiva clasificación de unidades como eficientes; esas han sido las principales motivaciones que han llevado a introducir restricciones en las ponderaciones (Førsund, 2013).

Con la idea de evitar escenarios con ponderaciones indeseables, se desarrollan estos modelos con multiplicadores más realistas o razonables, pues reducen la flexibilidad y mejoran el poder discriminador del modelo DEA. La introducción de restricciones supone la incorporación de juicios de valor a través de la adicción de restricciones sobre las ponderaciones de los inputs y outputs (Podinovski, 2016).

En un primer intento, Dyson y Thanassoulis (1988) establecen un límite inferior y superior a los multiplicadores intentando incorporar la perspectiva de los gerentes sobre la importancia relativa de los inputs y outputs empleados en la evaluación; Thompson et al. (1986) y Thompson et al. (1990) imponen límites sobre los cocientes de los multiplicadores definiendo una región de seguridad para evitar grandes diferencias entre los valores de los multiplicadores garantizando unos índices de eficiencia que satisfagan al tomador de decisiones; Charnes et al. (1990) agregan un conjunto de restricciones lineales homogéneas que definen un cono convexo, preseleccionando DMUs o input u output favorables, al que deben pertenecer los multiplicadores; y Wong y Beasley (1990) añaden restricciones relativas a los inputs y outputs virtuales que al no depender de las unidades de medida de los inputs y outputs (Thanassoulis et al., 2004) permite interpretar los inputs y outputs virtuales en base a su importancia para la calificación de eficiencia de la DMU (Thanassoulis et al., 2008).

Si bien no es propiamente un desarrollo basado en las restricciones sobre los multiplicadores, se elabora con la intención específica de evitar el valor cero en las ponderaciones. Bessent et al. (1988) introdujeron un nuevo análisis asociado a la idea de proyectar las unidades desde una eficiencia débil y a una Pareto eficiente. Ampliando y superando limitaciones, pero sobre el mismo enfoque se desarrollan los trabajos de Green et al. (1996) y Olesen y Petersen (1996), o introduciendo DMUs no observadas creando los medios necesarios para extender la frontera eficiente (Thanossoulis y Allen, 1998; Allen y Thanassoulis, 2004).

2.3.6. Modificaciones para adaptarse a variables de distinta naturaleza

Con la intención de poder incorporar al análisis distintos tipos de datos también se han desarrollado varias extensiones. Por ejemplo, para introducir variables categóricas (Banker y Morey, 1986b; Kamakura, 1988; Rousseau y Semple, 1993); variables cualitativas (Cook et al., 1993, 1996); factores indeseables, como un output tal que producir menos es mejor (Scheel, 2001; Seiford y Zhu, 2002; Färe y Grosskopf, 2004b); variables flexibles en el sentido de que son consideradas simultáneamente inputs y outputs (Beasley, 1995) o bien, determinar su estado como input u output dependiendo de que sea más favorable (Cook et al., 2006) o

adquirir el estatus que más beneficie a la medida de eficiencia de cada unidad (Cook y Zhu, 2007); variables no discrecionales (Banker y Morey, 1986a).

2.3.7. Variación de los datos

Dentro de esta categoría se encuentran extensiones tales como la super-eficiencia (Andersen y Petersen, 1993) que extrae a la unidad evaluada del conjunto de unidades con las que se compara para establecer dentro de las unidades eficientes un orden, aunque también se ha utilizado con otras intenciones (ver Cook y Seiford, 2009). Con el objetivo de superar el carácter estático de la medida de eficiencia se desarrolla el análisis *Windows* (Charnes et al., 1985a) que permite analizar a las unidades a lo largo del tiempo. Si se dispone de datos de las DMUs en distintos momentos del tiempo (series temporales) se puede utilizar este enfoque para identificar tendencias en el rendimiento, la estabilidad de los conjuntos de referencia y otras posibles percepciones (Cooper et al., 2011). Sin embargo, ese modelo no toma en consideración actividades interconectadas a través del tiempo, por ejemplo, outputs intermedios producidos en un periodo que serán input en el período siguiente. El modelo propuesto por Färe y Grosskopf (1996), DEA dinámico, trata con esos elementos intermedios y actividades interconectadas a través del tiempo.

2.3.8. Estocásticos

En esta sección se incluyen aquellos modelos que se han desarrollado con la intención de superar la naturaleza no estocástica del DEA. En este sentido se encuentran los trabajos de Sengupta, (1987), Land et al. (1988, 1993), Petersen y Olesen (1989), Olesen y Petersen (1995) que suponen los primeros intentos de introducir ruido en los procedimientos DEA.

Dentro de la literatura que pretende reducir la brecha entre los modelos estocásticos (SFA, Frontera estocástica) y el DEA, se han desarrollado modelos semiparamétricos, intentando aunar lo mejor de cada enfoque (error compuesto y flexibilidad). Banker y Maindiratta (1992) fueron los primeros en considerarlo, pero su trabajo basado en un procedimiento de máxima verosimilitud es prácticamente imposible de aplicar empíricamente y se desconocen las propiedades estadísticas de los estimadores obtenidos. Otra propuesta fue planteada en 1998 por Gstach,

DEA+, cuyo principal inconveniente es que precisa la especificación paramétrica de la distribución de las eficiencias radiales y del ruido radial (Simar, 2007). Para el caso univariante Hall y Simar (2002) presentan un modelo que caracteriza el PGD en presencia de ruido y establece las propiedades estadísticas del estimador. Esta metodología es adaptada en Simar (2007) para obtener una frontera estocástica no paramétrica en un contexto multivariante. Destacan las contribuciones de Kuosmanen (2008) y Kuosmanen y Johnson (2010), que para el caso univariante en output $q=1$ (con multiples inputs en el proceso de producción) han demostrado que el DEA se puede entender como un caso especial de mínimos cuadrados no paramétrico-convexo. A partir de los resultados en ese trabajo Kuosmanen y Kortelainen (2012) desarrollan el modelo estocástico no suavizado envolvente de datos (StoNED[46]). En este modelo no hacen ningún supuesto sobre la forma funcional de la frontera ni su alisado, pero sí establecen restricciones de convexidad y libre disponibilidad equivalentes a las del DEA. El modelo integra plenamente las principales características de DEA y SFA lo que conlleva heredar las ventajas de ambos métodos, pero también padecer de muchas de sus limitaciones. En 2017 Kuosmanen y Johnson proponen una extensión del enfoque StoNED para adaptarlo a un entorno de múltiples outputs a través de la función distancia direccional.

Recientemente se han desarrollado estimadores no paramétricos robustos de funciones de frontera estocástica tanto parcial de orden-m como global (Daouia et al., 2020 y Florens et al., 2019) aunque como establecen los autores aún queda pendiente realizar futuros estudios para profundizar en diversas cuestiones.

2.3.9. Modelos de frontera parcial

La idea que subyace en estos enfoques es calcular fronteras parciales, en lugar de una frontera global, que no envuelvan a todos los datos de la muestra, evitándose así la alta sensibilidad que presentan los estimadores no paramétricos a los puntos extremos o atípicos. Dentro de estos estimadores de frontera parcial se encuentran dos tipos de fronteras las de orden-m y las de orden-α.

[46] Stochastic Non-smooth Envelopment of Data.

Propuesta por Calzas et al. (2002) a partir de la descripción de un PGD probabilístico, la frontera parcial de orden-m se basa en el concepto de frontera en input mínima esperada, y es definida como la expectativa promedio mínima alcanzada por las *m* unidades extraídas al azar que producen al menos un nivel de output determinado. Al no emplear toda la muestra esta frontera produce un conjunto de referencia menos extremo para las unidades ineficientes, pues no busca el mínimo absoluto sino el nivel mínimo esperado de input alcanzable.

Extendiendo esas ideas a una configuración completamente multivariante, Daraio y Simar (2005) presentan el estimador del índice de eficiencia de order-m. Este índice representa el menor índice de eficiencia en input esperado de la unidad analizada cuando es comparada con el conjunto de *m* unidades elegidas al azar que utilizan de media el mínimo input produciendo al menos lo mismo que ella. No está limitado al valor uno, si una unidad obtiene un índice superior a uno indicará que es más eficiente que la media de las *m* unidades contra las que ha sido comparada.

El parámetro de ajuste *m* puede ser establecido en base al nivel de robustez deseado para el estimador, de tal forma que determine el porcentaje de unidades de la muestra que se situarán fuera del conjunto de posibilidades de producción estimado de orden-m (Daraio y Simar, 2007a). Conforme m tiende a infinito, manteniéndose n constante, la frontera parcial estimada convergerá a la frontera total estimada y conforme n tiende a infinito esta convergerá a la verdadera frontera. Igualmente, el estimador del índice de eficiencia de order-m también converge hacia el estimador total y este al valor real de eficiencia. Una correcta elección de *m*, en función de n, convierte el estimador parcial de orden-m en un apropiado estimador de la frontera total ya que comparte las mismas propiedades asintóticas que él, pero es menos sensible a outlier y/o valores extremos (Daouia y Ruíz- Gazen, 2006).

La convexidad fue introducida en las fronteras de orden-m para el caso bivariante por Florens y Simar (2005) y en el multivariante por Daraio y Simar (2007b), lo que permite definir índices de eficiencia de orden-m con tecnología convexa.

Si bien estos estimadores parciales de orden-m son más robustos a los puntos extremos y outliers y no sufren del curso de la dimensionalidad no están carentes de inconvenientes. La monotonicidad de la frontera y estimadores parciales no está

asegurada y la divergencia de la frontera parcial respecto a la verdadera frontera repercute en el tratamiento dispar que se hace de unidades con un empleo de inputs muy pequeño o muy elevado lo que dificulta la elección de la frontera parcial adecuada (Daouia y Gijbels, 2011). Daouia et al. (2018) han desarrollado una formulación robusta de los estimadores parciales que corrige esos errores y han derivado, también, las propiedades asintóticas de los mismos.

La frontera parcial cuantil condicionado es un nuevo concepto estadístico de frontera de producción introducido por Aragón et al. (2005) basándose igualmente en la formulación probabilística del PGD. La estimación no paramétrica de la frontera parcial de orden-α está formada por las unidades de referencia que alcanzan un nivel de input que no es excedido por el (1-α) % de las empresas que producen más al menos que un determinado nivel de input

En este enfoque de frontera parcial la interpretación económica es más directa debido a la continuidad del parámetro de ajuste α ($\alpha \in [0,1]$) que marca el nivel del cuantil seleccionado, ofreciendo la proporción de unidades que consumen menos input que la unidad analizada entre todas las unidades que producen al menos lo mismo que la unidad analizada, lo que proporciona una indicación más clara sobre la eficiencia productiva y puede verse como un valor de referencia razonable (Aragón et al., 2005). Cuando α tiende a uno la frontera parcial cuantil condicionada converge a la frontera global (Daouia y Ruiz-Gazen, 2006).

Daouia y Simar (2007) proponen una configuración completamente multivariante que permite introducir la noción de índice de eficiencia cuantil-α basado en la frontera cuantil-α. Este índice, al igual que el de orden-m, no está limitado a uno. Si es igual a uno indicaría que la unidad es eficiente al nivel α%, si es menor o mayor que uno representará, respectivamente, la reducción o incremento proporcional de inputs que la unidad debe de realizar para ser eficiente en input al nivel α%. Además, como señalan estos autores el nivel α puede emplearse como una medida de eficiencia alternativa, ya que existe para cada unidad un nivel α para el cual el índice toma el valor uno. Las limitaciones respecto al cumplimiento del supuesto de monotonicidad que presenta el enfoque de estos autores basado en cuantiles condicionales son superadas por Daouia et al. (2017) desarrollando un nuevo estimador basado en cuantiles incondicionales más robusto y que no depende de la orientación (input/output) seleccionada, es único.

Conjuntamente presentan una herramienta de diagnóstico que permite seleccionar el orden del cuantil.

Hay estudios que incorporan tecnología convexa a las fronteras de orden-α tradicionales (ver Carvalho y Marques, 2016; Atwood y Shaik, 2016; Ferreira y Marques, 2017).

Las propiedades asintóticas de los estimadores de orden-m y y orden-α cuantil fueron analizadas por Daouia y Simar (2005), y proponen una nueva versión monotonizada de los mismos que comparten las mismas propiedades que los estimadores originales. La superioridad de uno de los enfoques de frontera parcial no puede ser establecida para todos los contextos, las fronteras de orden-m son más eficientes estadísticamente si bien la robustez de las de orden-α es superior como se deriva de las comparaciones realizadas por Daouia y Ruiz-Gazen (2006) y Daouia y Gijbels (2011).

Ambos enfoques parciales pueden ser empleados como herramientas para detectar valores atípicos o extremos (Simar, 2003; Daouia y Simar, 2007; Daouia y Gijbels, 2011).

Como se ha podido comprobar los modelos alternativos DEA llevados a cabo durante estos años son numerosos, todos ellos han ido ampliándose y extendiéndose a partir de los primeros trabajos presentados, desarrollándose una amplia literatura al respecto (Liu et al., 2013 y Liu et al., 2016). A finales de 2016 el número total de artículos de revistas alcanzaba los 10.300 (Emrouznejad y Yang, 2018). Liu et al. (2016) destacan cuatro frentes sobre los que se enfocan las investigaciones recientes y los futuros desafíos en DEA: los modelos de dos etapas y las técnicas bootstrap, el tratamiento de los factores indeseables, elaborar ranking de unidades y eficiencia cruzada, *network* DEA, *dynamic* DEA y SBM.

III – TRATAMIENTO DE LOS FACTORES EXÓGENOS AMBIENTALES EN DEA

III. TRATAMIENTO DE LOS FACTORES EXÓGENOS AMBIENTALES EN DEA

Principalmente en la última década, la literatura que inicialmente prestaba más atención a la medición de la eficiencia de las DMUs intenta ahora explicar las diferencias en eficiencia entre las distintas unidades. En este contexto, es muy importante tener en cuenta los efectos de los factores externos ambientales sobre la eficiencia. Se busca identificar las condiciones del entorno que crean ineficiencia.

En el capítulo precedente ha quedado de manifiesto que, al interpretar la ineficiencia de una DMU calculada mediante el DEA, dicha ineficiencia se atribuye a una gestión ineficiente sin considerar otros factores que pueden afectar a la DMU y a su grado de ineficiencia.

Estas variables ambientales son exógenas al proceso de producción, pero podrían afectar al rendimiento, aunque no estén bajo el control de las unidades de producción. El proceso de producción en el sector público se ha identificado como un proceso en dos fases, en el que en primer lugar se obtiene un output intermedio mediante la utilización de recursos controlables y, en segundo lugar, los resultados dependen del output intermedio y de las variables ambientales (Bradford et al., 1969). Los estudios empíricos avalan esta teoría y refuerzan la idea de que estos factores impactan en la provisión de servicios públicos (Ruggiero, 1996).

El desarrollo del DEA convencional asume que no existen factores fuera del control de las unidades; sin embargo, las unidades que prestan servicios públicos se ven afectadas por la presencia de esos factores si se comparan DMUs con factores fijos e iguales para todas. Las unidades de entornos más desfavorables podrían ser catalogadas como técnicamente ineficientes aun siendo su gestión adecuada; asimismo, el benchmarking podría carecer de justificación si lo que se propone es inalcanzable para las unidades dadas sus particularidades ambientales. En este sentido, la técnica debe adaptarse para tener en cuenta estas variables que recogen la heterogeneidad de las unidades evaluadas. El DEA ha demostrado una gran capacidad de adaptación para incluir factores exógenos en la valoración de la eficiencia (Pedraja et al., 2005).

Este capítulo pretende revisar brevemente las principales alternativas desarrolladas en la literatura para abordar esta cuestión. En el primer epígrafe se distinguen las variables ambientales de otro tipo de variables exógenas no controlables, siendo esta distinción de vital importancia ya que debido a su distinta naturaleza deberían ser incluidas en el análisis de diferente manera (Muñiz, 2001). Badin et al. (2014) realizan una revisión de los principales métodos introducidos en la literatura para incluir los factores externos-ambientales en los modelos de producción no paramétricos de forma explícita y no restrictiva. Distinguen tres enfoques: unietápico, de dos etapas y condicional. Siguiendo su clasificación, en las tres secciones siguientes se abordará cada uno de ellos.

3.1. TIPOS DE VARIABLES A CONSIDERAR

En cuanto a las variables que el investigador puede o debe considerar al evaluar la eficiencia de una unidad, existe un gran consenso en el plano teórico respecto a la idea de que, para obtener medidas de eficiencia significativas, todos los inputs y outputs, tanto controlables por la unidad de decisión como no controlables, deben ser considerados (Worthington y Dollery, 2002).

En 1980, Charnes, Cooper, Lewin, Monrey y Roseau clasificaron por primera vez las variables utilizadas en el análisis en discrecionales y no discrecionales. Las primeras serían aquellas sobre las que la DMU ejerce control. Las no discrecionales son aquellas que no son controlables por la unidad. Estas reflejan determinadas peculiaridades del entorno en el que opera la DMU que pueden afectar favorable o desfavorablemente a su rendimiento.

Dentro de estos factores no discrecionales se distinguen dos tipos de influencias: los inputs no controlables y las variables ambientales (Muñiz, 2001).

Los inputs no controlables son factores que intervienen directamente en el proceso productivo, pero no están bajo el control de la unidad. Afectan al nivel de eficiencia técnica de la DMU.

Las variables ambientales reflejan normalmente influencias exógenas que no intervienen en el proceso productivo pero que pueden explicar el comportamiento ineficiente de una unidad. Recogen características de la unidad o del entorno en el que opera y permiten explicar diferentes comportamientos ineficientes. Estos factores ambientales, tales como el tipo de gestión (pública-privada), limitaciones

regulatorias, orientación política del gobierno local o características socioeconómicas de la población, no son ni inputs ni outputs, pero pueden afectar el rendimiento del proceso productivo al ser determinantes de la eficiencia técnica.

La inclusión de ambos tipos de variables en el análisis supondrá operativas diferentes. Así, los inputs no controlables deberían ser incluidos en la evaluación de la eficiencia, modificando la medida de la misma, mientras que los factores ambientales al no afectar directamente al proceso productivo no deberían incluirse en el cálculo de los índices de eficiencia, sino en una fase posterior a la construcción de los índices.

En los epígrafes posteriores se abordarán brevemente las principales líneas seguidas para incorporar los factores ambientales que son los tratados en esta investigación. Quedan fuera del estudio las metodologías aplicadas al tratamiento de inputs no controlables, si bien muchos de los métodos empleados se han utilizado tanto para incorporar inputs no controlables como variables ambientales[47].

3.2. ENFOQUE DE UNA ETAPA

Fueron de los primeros métodos que se desarrollaron para investigar la eficiencia técnica de las DMUs cuando algunas variables están fuera del control de las mismas. Estos modelos incorporan todas las variables, discrecionales o no, dentro del problema de programación del análisis DEA.

Este enfoque incluye los factores ambientales $Z \in \mathcal{Z} \subset \mathbb{R}^r$, ya sea como un vector de libre disponibilidad de inputs (si Z es favorable para la producción de outputs) u outputs (si es perjudicial para la producción). Junto a ellos incluyen el resto de inputs y outputs controlables, considerándose todas variables endógenas en el modelo y definiendo el nuevo conjunto de posibilidades de producción $\Psi \subset \mathbb{R}_+^p \times \mathbb{R}_+^q \times \mathbb{R}_+^r$.

[47] El estudio de estas metodologías empleadas para la incorporación de estas variables se puede ampliar en Coelli et al. (2005), Fried et al. (2008b), Thanassoulis et al. (2008), De Witte y Kortelainen (2013) y las referencias bibliográficas citadas en los correspondientes subepígrafes.

Los distintos modelos que se encuentran en esta categoría surgen como resultado de las diferentes técnicas que se han utilizado (Worthington y Dollery, 2002). Inicialmente, Bessent et al. (1982) incluyeron en el programa DEA todas las variables relevantes para el análisis, sin atender a su carácter controlable o no. Las diferencias contextuales de la muestra eran ignoradas, lo que provocaba errores de medida y sesgo, especialmente donde la heterogeneidad de las variables era elevada (Fried et al., 1999).

Con el objetivo de solucionar este inconveniente se opta por comparar solamente unidades que operan en un entorno similar. La principal alternativa en este tipo de enfoque es la propuesta por Banker y Monrey (1986a). La resolución del problema establecido en este caso lleva a la reducción equiproporcional de los inputs discrecionales para un determinado nivel de output y de inputs no discrecionales. Las variables ambientales se utilizan para restringir el grupo de unidades con el que se compara cada unidad evaluada pero no intervienen en el proceso de optimización para la estimación de los índices de eficiencia.

$$\theta(x,y,z) = \inf\left\{\theta \middle| (\theta x, y, z) \in \Psi\right\} \tag{3.1}$$

La formulación propuesta, considerando rendimientos variables a escala, una orientación hacia inputs y en presencia de inputs discrecionales y no discrecionales, es:

$$\begin{aligned} & Min.\theta_0 \\ & s.a \quad \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_i - x_{i0}\theta_0 \le 0 \quad i = 1,\ldots,p \\ & \qquad \sum_{j=1ij}^{n} z_{kj}\lambda_i - z_{k0} \le 0 \quad k = 1,\ldots,r \\ & \qquad \sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j \ge y_{r0} \qquad r = 1,\ldots,q \\ & \sum_{j=1}^{n}\lambda_i = 1 \\ & \lambda_j \ge 0 \quad j = 1,\ldots,n \end{aligned} \tag{3.2}$$

Se observa que θ solamente se asocia a los inputs controlables. Así, cada unidad es comparada únicamente con aquellas que emplean una cantidad igual o menor de factores no controlables. La frontera calculada es la misma que en el modelo DEA-VRS, pero añade más restricciones. En consecuencia, las estimaciones de la eficiencia así obtenidas serán igual (para las eficientes) o menores (en el caso de unidades ineficientes) que las obtenidas en el modelo original, produciéndose una sobreestimación del nivel de ineficiencia (Ruggiero, 1996). Así, la solución propuesta por esta técnica, aunque reduce el sesgo, supone una pérdida de valor como herramienta comparativa y de aprendizaje, puesto que no se puede aprender o innovar de unidades que actúan en entornos operativos diferentes y ralentiza la propagación de la innovación (Fried et al., 1999; Rouse et al., 1996). Además, al reducir el número de observaciones se incrementa la probabilidad de que una observación sea juzgada como eficiente relativamente (Banker, 1996), lo que unido al incremento del número de variables introducidas en el modelo reducirá su poder discriminatorio (Cordero-Ferrera et al., 2010).

Con posterioridad se han desarrollado extensiones de este modelo intentando superar algunas de sus limitaciones. Así, Ali y Seiford (1993) proponen comparar las unidades solamente con aquellas que se encuentran en entornos operativos similares o menos favorables al suyo. Banker y Monrey (1986b) incluyen en el análisis factores no controlables que son variables categóricas. Ruggiero (1996) extiende este último modelo para permitir variables continuas. Golany y Roll (1993) incorporan el grado de discrecionalidad de los inputs no controlables, por si la unidad tuviese algún porcentaje de control sobre el mismo. Finalmente, Pastor et al. (2001) introducen en el modelo sólo aquellas variables que influyen significativamente en la medida de la eficiencia, estableciendo un procedimiento para identificarlas.

Las ventajas de estos modelos es que permiten la inclusión de todas las variables relevantes para el análisis y simplifican los cálculos, en comparación a los métodos multietapa (Muñiz, 2002). Sin embargo, a pesar de las variantes desarrolladas siguen padeciendo principalmente dos inconvenientes. Solamente pueden ser empleados con variables ambientales continuas y el investigador debe decidir a priori el carácter favorable o no de los Z factores, cuando en muchas ocasiones no puede ser previsto el efecto de tales factores sobre el proceso productivo.

3.3. ENFOQUE DE DOS ETAPAS

Los modelos multietápicos evitan los problemas señalados de los unietápicos. Estos modelos llevan a cabo varios estados de análisis con la idea de conocer qué factores determinantes pueden explicar el comportamiento de las unidades productivas. Todos ellos tienen en común un primer estado en el cual se calculan los índices de eficiencia incluyendo exclusivamente los inputs y outputs controlables. En las sucesivas fases analíticas se realizan ajustes sobre los índices de eficiencia iniciales y/o se regresan sobre los factores exógenos no controlables. El enfoque de dos etapas es el más utilizado para incorporar los factores ambientales dentro del análisis de eficiencia no paramétrica. El primer trabajo que aparece incluyendo los factores no discrecionales en un estado posterior al cálculo inicial de los índices es el de Ray (1991). Si bien, como extensión de los modelos de dos etapas, se han propuesto también enfoques de tres y cuatro etapas (Fried y Lovell, 1996; Ruggiero, 1998; Fried et al., 1999; Fried et al., 2002).

El enfoque de dos etapas persigue en la primera etapa el cálculo del índice de eficiencia mediante uno de los programas establecidos (2.15 o 2.19) ignorando los Z factores. Después, en la segunda etapa, el índice de eficiencia técnica calculado $\hat{\theta}$ es utilizado como variable dependiente y regresado sobre las variables que representan los Z factores ambientales para investigar su efecto sobre la eficiencia.

$$\hat{\theta}_j = f\left(Z_j, \beta_j\right) + \varepsilon_j \tag{3.3}$$

Durante el desarrollo de la segunda etapa la mayoría de los estudios han utilizado la regresión por mínimos cuadrados ordinarios o una regresión censurada Tobit. Aunque las estimaciones de eficiencia DEA son truncadas en uno por construcción, ha sido ignorado o confundido con censurado por los investigadores (Simar y Wilson, 2015), por lo que las aplicaciones empíricas han estado usando un modelo paramétrico restrictivo que invalidaba los resultados de la segunda etapa de regresión.

Simar y Wilson (2007, a partir de ahora SW) en su trabajo "*Estimatation and inference in two-stage, semiparametric models of production processes*" señalan las carencias de todos los estudios desarrollados en el enfoque de dos etapas, principalmente la ausencia de un adecuado proceso de generación de datos (PGD) que conlleva que la segunda etapa de regresión sea incoherente.

Consecuentemente, con el objetivo de obtener estimadores consistentes e insesgados de los índices de eficiencia que incorporen el efecto de variables ambientales, los mencionados autores describen un PGD consistente con la regresión de las estimaciones no paramétricas DEA de eficiencia sobre variables ambientales en la segunda etapa, que proporciona inferencia estadística adecuada desarrollando un procedimiento de doble bootstrap.

Banker y Natarajan (2008) proponen una alternativa al modelo de SW. La propuesta de estos autores también produce, mediante mínimos cuadrados ordinarios (MCO), estimaciones consistentes. Sin embargo, el trabajo de Simar y Wilson (2011b) examina de forma crítica este modelo con una discusión detallada de los supuestos y afirmaciones establecidas en el mismo, limitando su aplicabilidad. Demuestran que algunas de las declaraciones que realizan son falsas y la consistencia de la etapa de regresión MCO depende de supuestos muy restrictivos e inusuales. Otra de las múltiples alternativas (Hoff, 2007; McDonald, 2009; o Ramalho et al., 2010) propuestas a partir del trabajo de SW es la de Park et al. (2008), que sugieren emplear un modelo de regresión truncada no paramétrico para la segunda etapa.

Kneip et al. (2015a) plantean una extensión del enfoque de dos etapas. Estos autores señalan que incluso si el modelo estadístico está correctamente definido, se mantiene un problema adicional derivado del hecho de que las medidas de eficiencia reales son desconocidas y remplazadas por su estimador DEA en la segunda etapa de regresión. Empleando un redefinido teorema central del límite muestran la forma de hacer inferencia válida incluso en estadísticos sofisticados como los utilizados en los modelos de dos etapas.

La principal desventaja de los enfoques de dos etapas, como apuntan SW, es que las estimaciones de eficiencia están seriamente correlacionadas de un modo complicado y los índices de eficiencia de la primera etapa son sesgados. Xue y Harker (1999) y Hirschberg y Lloyd (2002) son los primeros en reconocer el problema de correlación entre los índices de eficiencia estimados y utilizan un procedimiento bootstrap sencillo (*bootstrap naive*[48]) para la estimación de errores estándar y evitar su dependencia. Sin embargo, este procedimiento bootstrap

[48] Este algoritmo bootstrap fue definido por Efron y Tibshirami (1993) y Ferrier y Hirschberg (1997).

basado en el remuestreo a partir de una distribución empírica no es consistente en el contexto de la estimación no paramétrica de la eficiencia (Simar y Wilson, 2007). Ellos proponen introducir un procedimiento basado en técnicas bootstrap para permitir una inferencia más adecuada en la segunda etapa.

Además, todos los métodos de dos etapas tienen un inconveniente adicional (Daraio y Simar, 2007) y es que se basan en una condición de separabilidad entre el espacio de input y output (X,Y) y el de variables ambientales Z, que supone asumir que las variables ambientales no afectan a la forma de la frontera, sino que solo influyen en la probabilidad de ser eficientes. Específicamente, Simar y Wilson (2011b, p. 207) por "separabilidad" *quieren decir que el soporte de las variables outputs no depende de las variables ambientales en* Z. El problema puede ser formalizado de la siguiente manera (Simar y Wilson, 2015): la muestra de observaciones (X_j, Y_j, Z_j) son realizaciones idéntica e independientemente distribuidas de las variables aleatorias (X,Y,Z); dado Z=z, el conjunto alcanzable de combinaciones de inputs y outputs es definido por:

$$\Psi^z = \left\{ (x,y) \in \mathbb{R}_+^{p+q} \,\middle|\, Z = z \text{ y } x \text{ puede producir } y \right\} \tag{3.4}$$

La función de densidad probabilidad de que (x, y), se apoya en el conjunto Ψ, ambos conjuntos están relacionados mediante:

$$\Psi = \left\{ (x,y) \in \mathbb{R}_+^{p+q} \,\middle|\, x \text{ puede producir } y \right\} = \bigcup_{z \in Z} \Psi^z \tag{3.5}$$

Por supuesto, para todo $z \in Z$, $\Psi^z \subseteq \Psi$.

La condición de separabilidad descrita en SW requiere $\Psi^z = \Psi$, para todo Z. Testar el cumplimiento de esta condición debe ser el primer paso para garantizar un enfoque de dos etapas significativo.

En un reciente trabajo, Daraio y Simar (2022) presentan un enfoque de dos etapas novedoso que solventa los inconvenientes de estos modelos. En la primera etapa estiman la frontera aprovechando la flexibilidad de las técnicas no paramétricas (FDH, DEA) y en la segunda etapa llevan a cabo un ajuste paramétrico sobre la frontera eficiente no paramétrica estimada. El método

expuesto puede utilizarse aunque los factores ambientales influyen en la frontera, es decir, aunque no se cumpla la condición de separabilidad.

3.3.1. Modelo de dos etapas semiparamétrico de Simar y Wilson

SW establecen un modelo estadístico coherente, en el cual la segunda etapa de regresión es significativa, en el sentido de que la ecuación de regresión es determinada mediante la estructura del modelo desarrollado en la primera etapa de donde son obtenidos los índices de eficiencia (Simar y Wilson, 2011b). En base a ello la regresión truncada produce estimaciones consistentes de los rasgos del modelo y aplicando un doble bootstrap puede desarrollarse inferencia valida.

Suponiendo un vector de input $x \in \mathbb{R}_+^p$, un vector de output $y \in \mathbb{R}_+^q$, un vector de variables ambientales $z \in \mathbb{R}_+^r$, y una vez decididas, utilizando los métodos descritos en Simar y Wilson (2001), qué variables son inputs, outputs o ambientales, se puede establecer un modelo de dos etapas razonable. El modelo estadístico descrito asume ocho supuestos para describir el PGD (ver SW, p. 34 a 37):

A-1 y A-2 producen una segunda etapa de regresión congruente, y equivalen a la condición de separabilidad. Si los datos no soportan la condición de separabilidad se tendría que utilizar otra alternativa. El modelo[49] planteado depende de las variables z_j:

$$\delta_j = \psi\left(z_j, \beta\right) + \varepsilon_j \geq 1 \tag{3.6}$$

donde ψ es una función continua y suavizada, β denota un vector de parámetros a estimar junto con una variable aleatoria independientemente distribuida z, y ε_j es una variable aleatoria que representa la parte de ineficiencia no explicada por z_j.

En A-*3* se establece: dado que $\delta_j \geq 1$, ε_j se distribuye según una $N\left(0, \sigma_\varepsilon^2\right)$ truncada a la izquierda en *1-ψ(z$_i$, β)* para cada j. Otras distribuciones pueden ser seleccionadas para ε_j, o puede dejarse sin especificar (SW).

---

[49] La eficiencia es medida en términos de la función distancia de Shephard (1970), como se vio en el capítulo uno, es la inversa de la medida de Farrell. Es decir,

$$\theta(x,y) = \min\left\{\theta \middle| \theta x \in \chi(y)\right\} \Rightarrow \delta(x,y) = \frac{1}{\theta(x,y)} = \max\left\{\delta \middle| \frac{x}{\delta} \in \chi(y)\right\},\ \delta \geq 1;$$

en este caso la frontera es un estimador sesgado al alza de la real y el estimador $\hat{\delta}(x,y)$ es un estimador sesgado a la baja de δ.

Además, A-4 a A-6 asumen los supuestos de Shephard (1970) y Färe (1988) sobre la tecnología de producción. Los supuestos A-7 y A-8 se establecen con la intención de dar consistencia a los estimadores en base a las establecidas en Kneip et al. (1998) pero ampliándolas para incorporar las variables ambientales.

Los ocho supuestos definen un proceso de generación de datos (PGD) semi-paramétrico el cual produce los datos de la muestra $Sn = \left\{\left(x_j, y_j, z_j\right)\right\}_{j=1}^{n}$.

Como se vio en el capítulo anterior, Simar y Wilson (2011b) señalan que al ser los datos obtenidos de una muestra aleatoria, el verdadero valor de δ se desconoce. SW presentan dos enfoques para tratar con este problema.

En el primer enfoque, con el objetivo de poder llevar a cabo inferencias válidas sobre los índices de eficiencia, SW plantean el Algoritmo-I, donde las estimaciones DEA $\hat{\delta}_j$ obtenidas en la primera etapa remplazan a las inobservadas δ_j en (3.4), con $\psi(z_j\beta)=z_j\beta$. Dado que las estimaciones DEA son consistentes bajo los supuestos del modelo estadístico SW, la estimación máximo verosímil de la regresión truncada produce estimaciones consistentes de β:

$$\hat{\delta}_j = z_j\beta + \varepsilon_j \geq 1 \tag{3.7}$$

El procedimiento propuesto en el Algoritmo-I consta de cuatro pasos (SW, p. 41):

[1]. Se calculan los índices de eficiencia $\hat{\delta}_j$ para cada unidad *j* (en nuestro caso para cada municipio).

[2]. Se estima la ecuación (3.7) mediante máxima verosimilitud, obteniéndose la estimación $\hat{\beta}$ de β y $\hat{\sigma}_\varepsilon$ de σ_ε, usando las $m<n$ observaciones donde $\hat{\delta}_j > 1$.

[3]. Se computan *L* estimaciones de β y σ_ε mediante bootstrap de la siguiente forma: para cada $j=1,\ldots, m$, a partir del error ε_j de una distribución normal $N\left(0,\ \hat{\sigma}_\varepsilon^2\right)$ truncada a la izquierda en $1-z_i\hat{\beta}$, se calcula por máxima verosimilitud $\delta_j^* = z_j\hat{\beta} + \varepsilon_j$ produciendo las estimaciones bootstrap de $\left(\hat{\beta}^*, \hat{\sigma}_\varepsilon^*\right)$.

[4]. A partir de los valores de matriz $A = \left\{\left(\hat{\beta}^*, \hat{\sigma}_\varepsilon^*\right)_b\right\}_{b=1}^{L}$ que recoge el conjunto de estimaciones bootstrap, y los valores originales de los

estimadores $\left(\hat{\beta},\hat{\sigma}_{\varepsilon}\right)$ se pueden construir intervalos de confianza para β y σ_{ε}.

Sin embargo, si bien el estimador DEA es consistente, converge a una ratio demasiado lenta y es sesgado; recuérdese que sufrían de la *maldición de la dimensionalidad*. Por tanto, el procedimiento de este algoritmo sería insuficiente para corregir el sesgo en muestras pequeñas.

En consecuencia, los autores proponen otra alternativa para corregir el sesgo de los índices de eficiencia en la primera etapa. Ese estimador corregido, $\hat{\hat{\delta}}_j$ será remplazado en (3.4), y estableciendo $\psi(z_i,\beta)=z_i\beta$ produce otro modelo de regresión truncada en el cual la estimación máximo verosímil origina estimaciones consistentes de β. El procedimiento bootstrap erigido en el algoritmo-II establece la siguiente secuencia:

[1] y [2] son iguales al algoritmo-I.

[3]. Se calculan $b= 1,\ldots, L_1$ estimaciones mediante bootstrap para cada índice de eficiencia $\hat{\delta}_j$. Con el objetivo de obtener un conjunto de estimaciones bootstrap $\hat{\delta}^*_{jb}$ se llevan a cabo los siguientes pasos:

[3.1]. Partiendo de ε_j de una distribución normal $N\left(0,\ \hat{\sigma}^2_{\varepsilon}\right)$ truncada a la izquierda en $1-z_i\hat{\beta}$. Se calcula por máxima verosimilitud $\delta^*_j = z_j\hat{\beta}+\varepsilon_j$.

[3.2]. Estableciendo $x_j = x^*_j$ y modificando los valores originales de: $y^*_j = y_j\frac{\hat{\delta}_j}{\delta^*_j}$, vuelven a calcularse los índices de eficiencia $\hat{\delta}^*_j$.

[4]. Para cada j=1,…,n, se calcula el estimador de eficiencia una vez corregido el sesgo $\hat{\hat{\delta}}_j = \hat{\delta}_j - se\hat{s}go\left(\hat{\delta}_j\right)$

Se continúa con el Algoritmo-I a partir del punto [2] sustituyendo $\hat{\delta}_j$ por $\hat{\hat{\delta}}_j$:

[5]. Se estima mediante máxima verosimilitud la regresión truncada de $\hat{\hat{\delta}}_j$ respecto a z_j, obteniendo $\hat{\hat{\beta}}$ y $\hat{\hat{\sigma}}_{\varepsilon}$.

[6]. Se repite el proceso L_2 veces para obtener un conjunto de estimaciones bootstrap de $\hat{\hat{\beta}}^*$ y $\hat{\hat{\sigma}}^*_{\varepsilon}$ con $b=1,\ldots, L_2$, tras calcular por máxima verosimilitud $\delta^{**}_j = z_j\hat{\hat{\beta}}+\varepsilon_j$.

[7]. A partir de los valores obtenidos y las estimaciones originales se pueden construir intervalos de confianza para cada elemento β y σ_ε. Como describe SW (p.43).

El decantarse por un algoritmo u otro, en principio queda a juicio del investigador. SW examinan los dos procedimientos alternativos mediante la realización de varios experimentos Monte Carlo con diferentes tamaños muestrales. En términos generales, el Algoritmo-II revela un mejor funcionamiento cuando el tamaño muestral incrementa; en cambio el Algoritmo-I supera al II si la muestra es pequeña (SW). El algoritmo-II presenta otra ventaja adicional, y es que las estimaciones con los coeficientes corregidos son más precisas. El doble bootstrap produce intervalos de confianza con unos niveles de cobertura cercanos a los nominales y superiores en casi todos los casos a los alcanzados por el Algoritmo-I.

El desarrollo de este procedimiento permite realizar inferencia válida. Sin embargo, este enfoque SW desencadenó una amplia lista de aplicaciones empíricas que pasaban por alto las hipótesis básicas para su correcta aplicación y el tipo de regresión a usar en la segunda etapa. El incumplimiento de los supuestos tales como separabilidad invalidarían los resultados. Los estudios de Simar y Wilson (2011a, 2011b) y Badin et al. (2012) alertan de esta preocupante situación, ambos en términos del incorrecto uso del modelo y en cuanto a las inconsistencias e invalidez de la mayoría de las propuestas alternativas. Se hace, por tanto, imprescindible que los supuestos establecidos en los procedimientos descritos por SW para el enfoque de dos etapas se cumplan.

En concreto, la condición de separabilidad establecida por los supuestos A-1 y A-2 implica "*un supuesto restrictivo que es necesario testar*" (Simar y Wilson, 2011b p.) ya que tal y como SW (p.36) señalan, "*uno podría preguntarse si la condición implícita de separabilidad es soportada por los datos*". Desafortunadamente no hay disponible un test formal para testar esta cuestión, aunque se han desarrollado varios intentos de solucionar este problema. Una de las posibilidades es emplear, para aceptar o rechazar la condición de separabilidad, el procedimiento bootstrap descrito en Simar y Wilson (2001) en el que implementan test sobre la agregación de inputs y outputs para reducir el problema del curso de la dimensionalidad. También es posible utilizar el test no paramétrico desarrollado por Daraio et al. (2010). Una vez validado el enfoque de dos etapas se podrían calcular los índices

de eficiencia respecto a la frontera del conjunto alcanzable (X, Y) no condicionado por Z, y entonces en la segunda etapa realizar la regresión sobre los factores ambientales Z. Recientemente, en línea con el test desarrollado en Kneipt et al (2015a), Daraio et al. (2018) definen un nuevo TCL que permite a los investigadores estimar intervalos de confianza para medidas de eficiencia condicional o comparar eficiencias medias a través de grupos en línea al test desarrollado en Kneip et al (2015b). Este nuevo TCL es usado para desarrollar un test de la condición de separabilidad necesaria para un segundo estado de regresión.

Alternativamente, si los datos no soportan la condición de separabilidad podría aplicarse Coelli et al. (1998), donde los autores plantean varias formulaciones alternativas para hacer depender al conjunto de producción de las variables ambientales. Un enfoque consiste en aumentar el modelo para incluir a los factores z en la primera etapa, tomando el rol de inputs u outputs de libre disponibilidad, aunque sería necesario asumir una forma funcional y una distribución para la ineficiencia.

El enfoque Simar y Wilson (2007) al que se ha estado haciendo referencia en este epígrafe supone el pilar sobre el que se asienta esta investigación, como se verá al desarrollar la metodología.

3.4. ENFOQUE CONDICIONAL

La idea básica de este enfoque se basa en la formulación probabilística del proceso de producción. Esta formulación fue realizada por Daraio y Simar (2005) generalizando los resultados obtenidos en el trabajo de Calzals et al. (2002), en la cual es sencillo introducir los factores ambientales.

Antes de mostrar la incorporación del efecto de los factores ambientales mediante el enfoque condicional se expondrán las ideas básicas del PGD probabilístico.

3.4.1. Formulación probabilística del proceso de producción

Hasta ahora el modelo estadístico que define el PGD se ha determinado en base a los supuestos que definen el conjunto de producción Ψ y la función de densidad de probabilidad $f(x,y)$. La función de distribución $F(x,y)$

correspondiente a la función de densidad *f*, está caracterizada por la siguiente función de probabilidad:

$$H_{XY}(x,y) = \Pr(X \leq x, Y \geq y) \tag{3.8}$$

(3.8) es interpretada como la probabilidad de que una unidad con la combinación de inputs y outputs (x,y) sea dominada, es decir, que exista otra unidad que produzca al menos tanto output utilizando una cantidad de inputs no superior a la empleada por la unidad que opera en (x,y). El soporte de esta función de distribución es Ψ.

Esta probabilidad conjunta puede ser descompuesta, en la orientación input elegida en el trabajo como:

$$H_{XY}(x,y) = \Pr(X \leq x | Y \geq y)\Pr(Y \geq y) \tag{3.9}$$

donde $F_{X|Y}(x|y) = \Pr(X \leq x | Y \geq y)$ denota la función de supervivencia condicional de X, y $S_Y(y) = \Pr(Y \geq y)$ es la función de supervivencia de Y.

Dado que el soporte de la distribución conjunta es el conjunto alcanzable, la frontera de Ψ y otros conceptos relacionados con la eficiencia pueden ser definidos en términos de la función condicional.

Así, asumiendo que $S_Y(y) > 0$, el índice de eficiencia para $(x,y) \in \Psi$ es:

$$\tilde{\theta}(x,y) = \inf\left\{\theta \middle| F_{X|Y}(\theta x|y) > 0\right\} = \inf\left\{\theta \middle| H_{XY}(\theta x, y) > 0\right\} \tag{3.10}$$

y es interpretada como la reducción proporcional de inputs (manteniendo constante el nivel de output) requerida para que la unidad alcance probabilidad cero de ser dominada por otra unidad elegida aleatoriamente.

Bajo libre disponibilidad de Ψ, Calzals et al. (2002) y Daraio y Simar (2005), muestran que la función probabilística presenta una representación alternativa de los tradicionales índices de eficiencia Debrau-Farrell,

$$\tilde{\theta}(x,y|H_{XY}) = \theta(x,y|\Psi) \tag{3.11}$$

Y remplazando la desconocida $F_{X|Y}(x|y)$ por su versión empírica obtienen que el estimador coincide con el estimador no paramétrico FDH. Daraio y Simar

(2007b) extienden los trabajos anteriores para mostrar que el estimador también puede coincidir con el estimador DEA-VRS de la medida de eficiencia.

$$\tilde{\theta}\left(x,y\middle|H_{XY}\right)=\theta\left(x,y\middle|\hat{\Psi}_{VRS}\right) \tag{3.12}$$

donde $\hat{\Psi}_{VRS}$ es definido en (2.16).

3.4.2. Medida de eficiencia condicional

Daraio y Simar (2005) proponen, a partir de la formulación probabilística del proceso de producción, una forma para introducir factores externos-ambientales, basándose en las ideas desarrolladas en Calzals et al. (2002).

Su objetivo es desarrollar medidas condicionales de eficiencia, es decir, medidas que tomen en cuenta las condiciones ambientales (factores externos) en las que la unidad desarrolla su actividad, sin imponer previamente el efecto positivo o negativo de los mismos sino dejando que los datos revelen su influencia (Dario y Simar, 2007). Además, puede ser aplicado si la condición de separabilidad no se cumple, $\Psi \neq \Psi^{z}$.

En 2005 Daraio y Simar plantean un modelo totalmente no paramétrico el cual resuelve los dos inconvenientes señalados. Para ello, definen fronteras condicionales FDH (para los factores externos), sus índices de eficiencia y los correspondientes estimadores no paramétricos. Con la motivación de desarrollar un estimador de la frontera de producción DEA condicionado a variables ambientales Daraio y Simar (2007b) extienden la idea para tecnologías convexas.

En presencia de factores externos, Calzals et al. (2002) y Daraio y Simar (2005), extienden la formulación probabilística definiendo la distribución condicional como:

$$\begin{aligned} H_{XY|Z}\left(x,y\middle|z\right) &= \Pr\left(X\le x, Y\ge y\middle|Z=z\right) \\ &= \underbrace{\Pr\left(X\le x\middle|Y\ge y, Z=z\right)}_{F_{XY|Z}\left(x|y,z\right)}\underbrace{\Pr\left(Y\ge y\middle|Z=z\right)}_{S_{Y|Z}\left(y|z\right)} \end{aligned} \tag{3.13}$$

donde $H_{XY|Z}\left(x,y\middle|z\right)$ representa la probabilidad de que una unidad de producción que opera en $\left(x,y\right)$, sea dominada por otras unidades que operan con las mismas

condiciones ambientales z. Y $F_{XY|Z}\left(x\middle|y,z\right)$[50] es la función de distribución condicional de X.

$$\theta\left(x,y\middle|z\right)=\inf\left\{\theta\middle|F_{X|YZ}\left(\theta x\middle|y,z\right)>0\right\} \tag{3.14}$$

Daraio y Simar (2007b) definen la medida condicional en input como el correspondiente estimador DEA condicional de $\theta\left(x,y\middle|z\right)$:

$$\hat{\theta}_{VRS}\left(x,y\middle|z\right)=\inf\left\{\theta\middle|\left(\theta x,y\right)\in\hat{\Psi}^{z}_{VRS}\right\} \tag{3.15}$$

El estimador DEA condicionado definirá la menor frontera alcanzable por una unidad que produce un nivel de output y con un entorno descrito por el valor z. El nivel de input eficiente condicionado a que Z=z, para un nivel de output y es: $\hat{\theta}\left(x,y\middle|z\right)x$ donde $\left(x,y\right)\in\hat{\Psi}_{VRS}$, claramente $\hat{\Psi}^{z}_{VRS}\subseteq\hat{\Psi}_{VRS}$.

Daraio y Simar[51] (2007b) explican que el cociente entre del estimador DEA condicional y estimador DEA como una herramienta para investigar el impacto de Z sobre el proceso de producción. Así, regresando la ratio no paramétrica $\left(\hat{\theta}_{VRS}\left(x,y\middle|z\right)\middle/\hat{\theta}_{VRS}\left(x,y\right)\right)$ sobre los valores observados z; si la curva de regresión resultante es creciente, describe un efecto negativo del factor externo Z sobre el proceso de producción y la eficiencia, y si la curva de regresión decrece, Z es favorable para la eficiencia y tiene un efecto positivo sobre el proceso de producción. Una línea recta denota un efecto neutro de Z sobre el proceso de producción.

Badin et al. (2012, 2014) explotan la comparación entre las medidas condicionales e incondicionales separando el impacto de los factores ambientales en sus componentes -el impacto sobre la frontera y el impacto sobre los índices de eficiencia- y proponen un modelo para regresar el índice de eficiencia condicional sobre los factores externos[52]. Este modelo de regresión elimina los efectos de

[50] No es una distribución estándar debido al diferente tratamiento de Y y Z. Es decir, Y es un vector de output, por lo que la condición es Y≥y, mientras que Z es un vector de variables ambientales cuyo efecto es desconocido, por tanto, la condición es sobre Z=z.

[51] Extendiendo las explicaciones para el estimador FDH realizadas por Daraio y Simar (2005).

[52] Para un mayor detalle ver Badin et al. (2012, 2014).

localización y escala de Z sobre la eficiencia, y permite usar los residuos como una medida de la eficiencia "gerencial" y ordenar las unidades en base a ella (Badin et al., 2012).

Asatrayan y De Witte (2015, p.14) señalan como inconveniente de estos modelos condicionales, el hecho de que, al emplear gráficos para detectar el efecto de las variables ambientales, si Z es multivariante, la visualización del efecto sería a través de gráficos de regresión que implicarían que solo una variable pudiese cambiar y las otras se mantendrían fijas.

Las propiedades asintóticas de los estimadores no paramétricos condicionales fueron desarrolladas por Jeon et al. (2010) pero con una muestra "apropiada" que depende del parámetro bandwidth y que afecta a los índices de eficiencia. Estos autores señalan en sus conclusiones que la selección del parámetro bandwidth es aún un desafío para el futuro. Badin et al. (2010, 2019) establecen unas técnicas basadas en un procedimiento de Validación Cruzada de Mínimos Cuadrados (LSCV) o bootstrap respectivamente, que permiten optimizar la elección del parámetro de suavizado.

IV – MARCO PARA EL ANÁLISIS

IV. MARCO PARA EL ANÁLISIS

A lo largo del desarrollo de los tres primeros capítulos de esta investigación se han ido marcando las líneas sobre las que se puede definir y medir la eficiencia dentro de un contexto como el caracterizado por el sector público. Asimismo, se ha visto que es posible analizar los efectos de un conjunto de factores externos ambientales sobre la eficiencia de una forma coherente para que los resultados puedan servir de referencia a las distintas unidades productivas analizadas, los municipios en este caso.

El objetivo del presente capítulo es marcar las bases para el análisis empírico que se va a realizar. Para ello, se ha dividido en cuatro apartados. El primero de ellos explicará el porqué de la búsqueda de eficiencia en el sector público. Después se concretarán los objetivos específicos del estudio empírico que se va a realizar. En el tercer apartado, se presenta la revisión de la literatura existente respecto a la medición de la eficiencia y sus factores determinantes. En el último se expone detalladamente la metodología seguida para la obtención de resultados.

4.1. LA EFICIENCIA EN EL SECTOR PÚBLICO

Las funciones del gobierno pueden englobarse básicamente en ofertar los bienes y servicios públicos necesarios, utilizando de manera eficiente, eficaz y equitativa los recursos de que dispone (ingresos obtenidos de los ciudadanos) con el objetivo de proporcionar una economía eficiente y eficaz adaptada a las necesidades de los ciudadanos y garantizando la estabilidad financiera en el futuro.

Los ciudadanos son los que proveen principalmente de recursos a las Administraciones Públicas. Así las cosas, cada vez son más los ciudadanos y distintos agentes de la economía los que se interesan porque el sector público desarrolle de forma eficiente sus funciones.

A raíz de la crisis del petróleo en los años 70 muchos países empezaron a acumular excesivos niveles de deuda que las explicaciones económicas sobre acumulación de deuda existentes no justificaban. Estas ineficiencias detectadas llevan al planteamiento de los fallos de la intervención del Estado, que

predominaba en el modelo de Gestión Pública Tradicional, asociados a la burocracia, la competencia política o derivados de las características propias de los bienes públicos (García-Sánchez, 2007). Como consecuencia de todo ello, los crecientes déficits y acumulación de deuda de la mayoría de los países llevan a una pérdida de credibilidad y legitimidad del sector público, viéndose inmerso en una crisis fiscal que le exige limitar el crecimiento del gasto y atender a una sociedad que reclama más cantidad y calidad de servicios públicos.

Por este motivo, la primera generación de reformas llevadas a cabo a finales de los 80 y principios de los 90, se centran en la búsqueda de eficiencia a través de los criterios utilizados en el sector privado. Surge así una nueva filosofía en el ámbito público denominada la Nueva Gestión Pública (NGP). Las principales diferencias con el modelo anterior las resume Losada (1997) como el paso de una Administración expansiva a una equilibrada, cerrada en sí misma a una relacional, neutral a una competitiva, indiferente a una responsable.

Según Hood (1991), la filosofía de la NGP se basa en el binomio Nuevo Institucionalismo y Gerencia Profesional. El Nuevo Institucionalismo se sustenta en las ideas de las tres teorías siguientes: Teoría de la Elección Pública o "Public Choice" (introducción de mecanismos de competencia y de mercado para aumentar la eficiencia y eficacia, y evitar las ineficiencias de la burocracia), la Teoría de los Costes de Transacción (reestructuración organizativa en función de los costes de transacción; se incorporarán mecanismos de mercado en tanto en cuanto se asegure un equilibrio entre esos costes y los intereses de los distintos colectivos) y la Teoría de la Agencia (función del coste óptimo).

Si bien, estas reformas "Gerencialistas" o "Managerialistas" supusieron un gran avance en las técnicas y procedimientos de gestión pública, a finales de la década de los 90 empiezan a esbozarse algunas críticas (Pollit, 1993; Hughes, 1994; y Pablos, 1997), recriminándole la adopción de las técnicas y procedimientos del sector privado sin adaptarlas a las características especiales de la gestión pública, y la falta de responsabilidad, que aun habiendo aumentado sigue sin limitar claramente quién es el responsable de las distintas tareas y de qué resultados.

La crisis financiera que comenzó en Asia en 1997, unida a las críticas referidas, puso de manifiesto el fracaso en detectar el desequilibrio fiscal. Se inicia así una segunda generación de reformas apoyadas por dos corrientes. La primera, Public Service Orientation (PSO), defiende una mayor presencia de los ciudadanos

y mecanismos de gestión propios del ámbito público. La segunda, Governance (buen gobierno), apuesta por la determinación, distribución y salvaguardia de las responsabilidades, el poder y la autoridad (Matheson y Kwon, 2003).

Esta filosofía ha ido adaptándose, pero aún hoy puede considerarse vigente. Así, la última reforma del sector público adoptada en España persigue un sector público más eficiente y eficaz en el desarrollo de sus funciones, con el objetivo de satisfacer las necesidades públicas. Esta reforma involucra al ciudadano en el proceso y en el control de sus resultados, y exige que los funcionarios respondan ante ellos en la medida de sus responsabilidades. Además, se verifica el cumplimiento de la ley, todas características derivadas de esa filosofía. De hecho, el trabajo de Pérez-López et al. (2015) señala que, en este último e inconcluso período de crisis, las formas de prestación de servicios derivadas de la NGP tienden a ser más eficientes.

En este sentido, la búsqueda de eficiencia en el sector público ha sido una constante a lo largo de los años. Uno de los factores fundamentales para mejorar la eficiencia del sector público es disponer de información sobre su rendimiento (Curristine et al., 2007). Del mismo modo, para analizar el impacto de las reformas sobre la eficiencia es necesario poseer indicadores de la misma para realizar evaluaciones.

La ausencia de un valor que indique el resultado del comportamiento del sector público, como puede ser el beneficio en el sector privado, complica la valoración y el control de la gestión de los municipios. Todos los agentes de la economía necesitan disponer de información fiable sobre los rendimientos del municipio para conocer si su actuación es eficiente. El problema en la medición del desempeño de la gestión pública viene especialmente derivado de la dificultad de identificar y evaluar los inputs y los outputs (Fox, 2001; Heald, 2003).

Blank y Lovell (2000) señalan los rasgos que dificultan esta selección: (a) la sobredimensión del sector público, que conlleva procedimientos más burocratizados y menos eficientes; (b) la forma de propiedad, que dificulta la vigilancia del desempeño o la eficiencia de los gestores públicos y sus bajos salarios en comparación con el sector privado; (c) objetivos que difieren en cuanto a la maximización de beneficios o la minimización del coste, la imposibilidad de valorar a precios de mercado, el hecho de que una gran mayoría de servicios públicos prestados solo puedan expresarse mediante indicadores que expresan cantidad

(por ejemplo, toneladas recogidas, número de instalaciones deportivas o números de puntos de luz) y la incapacidad de los indicadores de medir la calidad, que limita la investigación de la eficiencia en áreas concretas; (d) la inexistencia de competencia puede llevar a la desmotivación de los gestores y a la ineficiencia; y (e) la dificultad de definir apropiadamente los bienes y servicios provistos por el sector público.

Como resultado de lo anterior, un gran número de trabajos ha intentado establecer y validar indicadores de eficiencia en el sector público (Navarro, 1998; Ortiz, 2003 o AECA, 2004). Igualmente, el empleo de las técnicas no paramétricas, en particular el DEA, ofrece ventajas adicionales en la medición y valoración de la eficiencia, como ya se ha señalado previamente, especialmente cuando se trata de analizar las causas o determinantes de la misma.

4.2. LA EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA EN LA ADMINISTRACIÓN LOCAL

Inicialmente, el foco en la literatura fue sobre la medida de la eficiencia técnica. Con posterioridad, el interés por los determinantes de la ineficiencia ha ido aumentando. La información derivada de estos estudios es de gran utilidad a los gestores públicos, dado que, identificadas las fuentes de ineficiencia, éstas pueden ser corregidas o tenidas en cuenta a la hora de gestionar y valorar el servicio.

Dentro de las investigaciones desarrolladas se distingue entre aquellos trabajos que analizan el sector público local de forma global o bien se centran en la prestación de un servicio concreto.

El enfoque integral calcula la medida de la eficiencia global de la entidad considerando la prestación de los distintos servicios municipales. Estas medidas incorporan indicadores inputs y outputs que surgen del desempeño de las diferentes actividades desarrolladas por la corporación local. Se pueden encontrar estudios desarrollados en gobiernos locales de diversos países.

En España, Prieto y Zofio (2001) en una muestra de municipios de la provincia de León, realizan un cálculo global de la medida de eficiencia mediante un modelo aditivo que considera como variables los índices sectoriales calculados previamente en diferentes servicios (suministro de agua, limpieza de aguas residuales, alumbrado y pavimento, y equipamientos culturales y deportivos), proveyendo una guía para una asignación de recursos eficiente. Balaguer (2004),

empleando DEA, calcula la eficiencia para tres especificaciones de outputs diferentes (output de producción, de calidad y considerando ambas), y sus resultados indican que los ayuntamientos son más eficientes en términos de producción que en calidad. Más recientemente, Narbón-Perpiñá et al., (2019b) estudian la eficiencia en 1.754 municipios españoles durante el periodo de crisis empleando cuatro estimadores no paramétricos diferentes (DEA, FDH, Order-m y KSW) y planteando distintas especificaciones de outputs, alguna de ellas incluye variables relativas a la calidad del servicio. La eficiencia media varía dependiendo del estimador desde 0,44 a 0,96 especificándose, al igual que en otras investigaciones, que los niveles de eficiencia dependen en gran medida de la metodología aplicada. Sus resultados evidencian una mejoría en el nivel de eficiencia durante la crisis 2008-2013 y un *trade off* entre calidad y eficiencia en costes. Además, por primera vez se evidencian diferencias interregionales en España, mostrándose que las regiones del norte presentan mejores niveles de eficiencia (Narbón-Perpiñá et al., 2019a). Por último, Cordero et al. (2020) aplicando un novedoso método (Simar, 2016) analizan la influencia sobre la eficiencia de factores que generan heterogeneidad, pero no son observables, como la estructura institucional, la calidad de los trabajadores o las políticas implantadas. Sus resultados muestran que sí afectan a la distribución de la eficiencia y al conjunto de posibilidades de producción, pero de forma diferente dependiendo del tamaño del municipio, siendo más patente en los pequeños municipios y en los años centrales de la crisis.

En Brasil, Sampaio De Sousa y Ramos (1999), utilizando técnicas no paramétricas (DEA y FDH), encuentran que las ciudades con menos de 15 000 habitantes tienden a ser más ineficientes que las de mayor población. Sampaio De Sousa y Stošić (2005) para una muestra de 4 796 municipios brasileños, corroboran los resultados previos, señalando que la ineficiencia de los municipios pequeños puede explicarse por su dedicación al turismo, lo que les hace descuidar la gestión eficiente de recursos.

En Estados Unidos, Grosskopf y Hayes (1993) utilizan funciones distancia tipo Shephard para detectar ineficiencias potenciales. En Australia, en un estudio de 29 municipios de Tasmania, Marqués et al. (2015) detectan un amplio margen de mejora en la eficiencia de los gobiernos locales y las ventajas que puede ofrecer las colaboraciones entre municipios para beneficiarse de economías de escala. En

una muestra de 51 municipios portugueses, Afonso y Fernandes (2006) miden la eficiencia mediante DEA utilizando como output un único indicador de rendimiento municipal para varios servicios. Taïrou (2000) evalúa la eficiencia de los municipios franceses desde el punto de vista de su situación financiera. En Bélgica, Geys y Moesen (2009b) analizan 304 municipios flamencos en el año 2000 con la intención de comparar los resultados sobre el índice de eficiencia de la aplicación de tres métodos diferentes, FDH, DEA y SFA; la menor eficiencia media se obtiene bajo DEA-CRS y la mayor[53] en la estimación FDH, estos resultados advierten de que la estimación del nivel de eficiencia varía ampliamente de un método a otro, ahora bien la fuerte correlación entre las medidas permite llegar a conclusiones similares respecto al rendimiento de los municipios. Con la misma intención, Pevcin (2014) evalúa 200 municipios eslovenos para el año 2011, sus resultados indican un mayor número de municipios eficientes y una mayor ineficiencia media bajo DEA que SFA. En municipios italianos aplicando DEA, Lo Storto (2013) evalúa la eficiencia técnica, detectando ineficiencias de escala en varios de los municipios (42%). Medhi (2014) en municipios marroquíes mide la eficiencia en términos de su autonomía financiera. En Japón hay trabajos como el desarrollado por Nijkamp y Suzuki (2009).

Como se puede apreciar en el resumen presentado en la tabla A.1 del anexo, los estudios de eficiencia global obtienen resultados muy diversos en los niveles de eficiencia alcanzados por los municipios que conforman la muestra. Incluso en trabajos que miden la eficiencia en los municipios de un mismo país. Varios investigadores (Narbón-Perpiñá y De Witte, 2018a; Aiello y Bonanno, 2019) han puesto de manifiesto la heterogeneidad de los resultados obtenidos por los diferentes *papers* desarrollados en la literatura de la eficiencia municipal. Así, Aiello y Bonanno (2019) advierten que los niveles de eficiencia obtenidos en las diferentes investigaciones se ven afectados por la selección de la metodología, el tipo de datos, el número de variables introducidas en el modelo, y el tamaño muestral. En concreto, según su análisis de Meta-Regresión, los documentos que se basan en eficiencia en costes, o que emplean enfoques paramétricos, o asumen convexidad, o rendimientos constantes, o que emplean datos de corte transversal o con menor número de inputs u outputs alcanzan de media menores índices de eficiencia que

[53] Con 50 puntos porcentuales de diferencia entre una y otra. Ver tabla A.1 en anexos.

aquellos que analizan la eficiencia productiva, o realizan una estimación no paramétrica y no asumen convexidad, o asumen rendimientos variables, o emplean datos panel o incorporan más variables al modelo. Este hecho hace imprescindible ser cauteloso con respecto a las conclusiones extraídas y con las implicaciones políticas que de las mismas pudieran derivarse.

Especialmente a partir de la última década del siglo XX[54] se encuentran, también, en la literatura investigaciones que tratan de explicar los niveles de eficiencia alcanzados por los gobiernos locales a través de la indagación en los factores no controlados por el ejecutivo local, pero que pueden determinar su nivel de eficiencia o ineficiencia.

Entre aquellos que se enfocan en un contexto global y analizan los determinantes de la eficiencia se encuentran los estudios llevados a cabo en los municipios de Bélgica por De Borger y Kerstens (1996a, b), De Borger et al. (1994), Vaden Eeckaut et al. (1993), Geys (2006), Geys y Moesen (2009a) y Ashworth et al. (2014). Todos emplean como indicador de input los gastos totales municipales para evaluar diferentes aspectos de la eficiencia técnica y de costes. El vector de outputs recoge indicadores que sustituyen al nivel de bienes públicos en los servicios que legalmente son responsabilidad de los municipios (sociales, educativos, administrativos y de infraestructuras de recreo y ambientales) como la longitud de carreteras municipales, número de beneficiarios de becas de subsistencia, número de estudiantes en escuelas primarias municipales, tamaño de instalaciones recreativas, la población mayor de 65 años o la parte de residuos urbanos recogidos puerta a puerta o un índice sobre los servicios prestados a no residentes.

Los tres primeros estudios, basados en la metodología FDH, calculan la eficiencia en costes de 589 municipios y obtienen de media unos coeficientes de entre 0,57 a 0,99; en segundo lugar, buscan explicar las variaciones de eficiencia en base a las características estructurales y políticas del municipio. Utilizando una regresión Tobit, encuentran efectos positivos sobre la eficiencia de las variables nivel de estudios (significativa al 90%) y tasas locales; y efectos negativos con respecto a renta, número de partidos en coalición y subvenciones, pero sólo es significativamente distinta de cero con la variable subvenciones.

[54] Como muestra el análisis bibliométrico realizado por Rueda-López et al. (2020), figuras 3 y 4 en la p. 6

En cambio, Geys y Moesen (2009a), para 300 municipios flamencos, estudian las fuentes de ineficiencia potenciales en los factores socioeconómicos y políticos. Sus hallazgos revelan que mientras los primeros (ingresos, educación, tasa de desempleo, y desigualdades de ingresos) parecen tener poca relación con la ineficiencia local, la situación financiera del municipio (subvenciones, deuda histórica y superávit fiscal) muestra una fuerte correlación positiva con la eficiencia. Los resultados opuestos, en la variable subvenciones, encontrados en los primeros estudios respecto a este último es justificada por los autores dadas las diferentes condiciones (asociadas a una mayor supervisión de los gastos) para la concesión en los años analizados en cada estudio, 1985 y 2000 respectivamente (Geys y Moosen, 2009a).

Los hallazgos de Vaden Eeckaut et al. (1993) sugieren que los municipios gobernados por un único partido presentan mejor comportamiento que aquellos en los que existen varios en coalición. El último trabajo refleja que la competencia electoral y la volatilidad en el voto de los electores a lo largo del tiempo benefician los niveles de eficiencia, contrarrestando en cierta medida los efectos negativos de la fragmentación gubernamental.

También, entre los primeros trabajos desarrollados en Europa, se encuentra el llevado a cabo en municipios griegos por Athanassopoulos y Triantis (1998) para el ejercicio 1986 donde revelan que una mayor inversión en infraestructuras parece determinar mejor calidad del servicio prestado, recompensando con un efecto positivo sobre la eficiencia. Sin embargo, una mayor proporción de ingresos extraordinarios derivados de subvenciones recibidas del gobierno central, menor autonomía financiera, alta densidad poblacional y misma orientación política que el gobierno central menoscabará la eficiencia en costes de la administración local.

En Noruega, los trabajos de Kalseth y Rattø (1995, 1998) estiman un modelo de demanda con la finalidad de mostrar los principales determinantes de la variación del gasto administrativo local. En el primer estudio, los resultados evidencian que el gasto *per cápita* disminuye respecto al tamaño de la población al considerarse un bien colectivo (distribución de costes). El segundo, muestra la importancia de la estructura política en la determinación del gasto; así un consejo local de ideología mayoritariamente socialista y con un líder débil favorecerá mayores niveles de gasto. Borge et al. (2008) hallan que la eficiencia decrece con la capacidad fiscal y el grado de fragmentación de los partidos políticos, mientras que

Sørensen (2014) señala que competencia y polarización política empeora el rendimiento del gobierno y este efecto es mayor en municipios con altos ingresos.

Loikkanen y Susiluoto (2005), para municipios finlandeses, encuentran que unos salarios altos, una elevada población, desempleo y subvenciones[55] estatales tienden a reducir la eficiencia de la prestación de servicios municipales, mientras que una densa estructura urbana, gestión privada del servicio y un alto nivel de educación de los habitantes tienden a aumentar la eficiencia. La cualificación del gestor y su actitud positiva hacia la participación de los trabajadores en el desarrollo de la organización incrementa la eficiencia según se evidencia en el trabajo de Loikkanen et al. (2011).

En Alemania, los trabajos de Kalb (2010) y Kalb et al. (2012) son los primeros análisis de eficiencia en costes en los gobiernos locales de este país, con un enfoque global. En el primero, constatan el efecto negativo sobre la eficiencia de recibir subvenciones intergubernamentales y de una baja participación de los votantes. En los análisis desarrollados para examinar los determinantes de la eficiencia, se observa que una elevada concentración de poder, más actividad turística y una mayor proporción de escaños ocupados por partidos de izquierdas se asocia a mayor grado de ineficiencia. El segundo trabajo mencionado aplica SFA para evaluar la eficiencia e incorpora al análisis una serie de factores exógenos. Estos autores obtienen idénticos resultados al anterior trabajo respecto al impacto desfavorable, estadísticamente significativo, sobre la eficiencia del carácter turístico del municipio, el nivel concentración política o del número de escaños ocupados por partidos de izquierda; por el contrario, altos niveles de desempleo fomentarán la gestión eficiente.

También en municipios alemanes se encuentran los trabajos de Geys et al. (2010) y Geys et al. (2013). En el primero, valoran por primera vez cómo la influencia de la participación de los votantes sobre la eficiencia puede verse afectada por el grado de autonomía fiscal del municipio, sus resultados muestran que en los municipios con mayor independencia financiera el impacto de la alta participación de los votantes sobre la eficiencia es más intenso. En el trabajo de 2013 desvelan la importancia del tamaño de la población del municipio sobre el nivel de

[55] En los primeros años del período analizado (1994-2002). Después no aparece relacionada con la eficiencia.

eficiencia, indicando sus resultados la ineficiencia de los municipios con una población inferior a los 3.000 habitantes.

Con la finalidad de investigar la relación entre eficiencia y participación ciudadana, Asatryan y De Witte (2015) analizan, con un enfoque totalmente no paramétrico, la eficiencia de 2.000 municipios bávaros y su dependencia de factores como las iniciativas presentadas a través de instituciones democráticas directas o la ratio de participación. De sus resultados parece desprenderse que la disponibilidad de instrumentos de democracia directa promueve una gestión más eficiente en la prestación de servicios públicos.

Otro encuentro significativo es el evidenciado por Lampe et al. (2015) al investigar el efecto de la adopción de la contabilidad de devengo sobre la eficiencia en costes. Según este último trabajo, la implantación del principal rasgo de la NGP, la contabilidad de devengo que sustituye a la contabilidad de caja, parece sugerir una mejora en la eficiencia que no se mantiene a lo largo del tiempo. Además, sus hallazgos respecto a las variables socioeconómicas coinciden con los hallados en Geys et al. (2010) respecto a la prevalencia del efecto preferente (menos demanda de servicios de calidad) sobre el efecto coste (mayor gasto), con relación a la tasa de desempleo. Pero difieren a los encontrados en Kalb (2010) en relación con la variable plazas de alojamiento turístico que no resulta ser estadísticamente significativa.

El primer estudio en Serbia es llevado a cabo por Radulovic y Dragutinović (2015) en 143 gobiernos locales mediante SFA, y concluyen que la amalgamación de municipios favorece la eficiencia y que en el término de error el componente principal es la ineficiencia. Respecto a las variables exógenas que incorpora al análisis obtienen una asociación positiva con la aglomeración y negativa con la tasa de desempleo. En cambio, en 202 municipios de la República Checa, Šťastná y Gregor (2011) obtienen que la eficiencia mejora significativamente en los municipios pequeños incrementándose la ineficiencia con el tamaño de la población, las subvenciones *per cápita* y el porcentaje de ingresos autogenerados. De las variables políticas consideradas -participación electoral, año electoral, ideología política- sólo la primera es significativa advirtiéndose que una alta participación disminuye la ineficiencia. Similar evidencia extraen estos mismos autores en un artículo de 2015 donde comparan la eficiencia de los municipios checos durante y tras el periodo de transición, en cuanto al tamaño municipal y su

tendencia hacia la eficiencia. El impacto de las variables exógenas es similar para ambos periodos (el tamaño de la población y unos presupuestos más holgados elevan la posibilidad de ser catalogados como ineficientes) salvo por la relevancia de la ideología política de izquierdas que incrementa la ineficiencia durante la transición. Encuentran un novedoso resultado en la literatura, el porcentaje de ciudadanos con estudios universitarios disminuye la eficiencia en costes. La distancia de las unidades a la frontera debida a la ineficiencia es menor que el papel que juegan los determinantes, si bien estos son menos relevantes en el periodo post-transición.

Agasisti et al. (2016), mediante regresión truncada examinan el comportamiento de la eficiencia respecto a un amplio elenco de factores que clasifican en cinco categorías: características de la población, características del municipio, rendimiento económico y financiero del municipio, formas de gestión del servicio y políticos. Manifiestan una influencia favorable sobre la eficiencia de altos valores en las variables que representan los porcentajes de población menor de 18 años, el ingreso per cápita, la densidad de población y el superávit en la gestión, sorprendiéndoles el hallazgo contra el principio de responsabilidad, de que una mayor autonomía financiera penalice los niveles de eficiencia de los municipios italianos de Lombardía. Sin embargo, en el análisis de determinantes, desarrollado por D'Inverno et al. (2018) en municipios italianos de la Toscana, es precisamente una mayor autonomía financiera y tamaño poblacional los rasgos que favorecen la gestión eficiente del gasto público, mientras que los municipios de montaña o muy turísticos tienden a ser menos eficientes. También en municipios italianos, LoStorto (2016) analiza la posible existencia de un efecto de compensación entre eficiencia y calidad del servicio, del análisis parece desprenderse que sí se presenta ese *trade-off.*

En Portugal destacan los trabajos de: Afonso y Fernandes (2008) cuyos resultados revelan un efecto demanda de servicios más eficientes en los municipios más ricos y con un mayor nivel educativo; el de Da Cruz y Marques (2014) que evidencia el efecto positivo sobre el rendimiento económico de un alto nivel educativo, de gobiernos locales de derechas y gestores que buscan la eficiencia a pesar del coste electoral; y la publicación de Cordero et al. (2017b) donde la fusión de municipios y la concentración de la población han favorecido la eficiencia de los municipios portugueses al final del periodo analizado. Y al contrario que otros

estudios (Sampaio De Sousa y Stošić, 2005; Kalb, 2010), señalan que las regiones turísticas aumentan su eficiencia en busca de mayor calidad del servicio. Basílio et al. (2020) señalan igualmente los mejores resultados en eficiencia de los municipios con más de 100 000 habitantes, con mayor nivel educativo, transferencias estatales recibidas y autonomía fiscal; además, analizan si la intervención de la Troika en el país y la implantación de las medidas de ajuste han tenido efectos positivos sobre los índices de eficiencia en los gobiernos locales, no encontrando evidencia que lo respalde. Respecto a este último aspecto, tampoco el trabajo de Afonso y Venâncio (2020) muestra que las reformas llevadas a cabo mejoren la eficiencia del gasto público. Advierten estos últimos autores, que las reformas planteadas desde el gobierno central para mejorar el gasto público local solo serán efectivas si la administración local está motivada o surgen por propia iniciativa ya que están más cerca de los ciudadanos y sus necesidades, por lo que tienen un conocimiento superior de cómo mejorar los servicios prestados.

Fuera de Europa también se encuentran trabajos como el desarrollado por Sampaio de Sousa et al. (2005) en el ejercicio 2000 para 4 796 municipios brasileños donde la evidencia empírica refleja que los municipios que tienden a ser más eficientes muestran elevado nivel de uso de ordenadores, de la ratio de urbanización, y del grado de concentración de la población, sugiriéndose que la informatización facilita las tareas administrativas y la escasez de población de los municipios eleva el coste medio de los servicios e impide el aprovechamiento de economías de escala. Sin embargo, condiciones geográficas o climatológicas adversas y la disponibilidad de ingresos de *royalties* dificulta la gestión eficiente respectivamente, impidiendo la adecuada provisión de servicios y no reflejándose el acceso a recursos extra en más o mejores servicios públicos.

En Australia, el trabajo de Worthington (2000) utiliza una muestra de 177 gobiernos locales de Nueva Gales del Sur para medir la eficiencia en costes, comparando los resultados de las metodologías SFA y DEA. Constata las importantes diferencias que se producen al emplear esas dos tecnologías para representar la frontera de referencia, tanto en los índices de eficiencia como en su influencia sobre la distribución de la misma y sus implicaciones políticas. A través de una regresión Tobit sobre características financieras de cada municipio, señala

una relación confusa[56] con la variable subvenciones y activos corrientes. Otros trabajos también han analizado distintos aspectos de los gobiernos locales australianos (Worthington y Dollery, 2000b, 2000c).

En Estados Unidos, Grossman et al. (1999) señalan que el grado de ineficiencia técnica aumenta al disminuir la presión competitiva y al aumentar las subvenciones. Corroboran la idea de que la ausencia de competencia de mercado entre jurisdicciones locales repercute en un uso de recursos menos eficiente. Respecto al efecto de las subvenciones lo justifican por la menor precaución de los políticos en gastar este dinero no procedente de impuestos. Hughes y Edwards (2000) indican que los responsables de las ineficiencias detectadas son una inapropiada escala de operaciones (jurisdicciones demasiado grandes), el tamaño, y la concentración de poder del gobierno. Moore et al. (2005) miden la eficiencia de once servicios en 46 grandes ciudades durante un período de seis años. Sus hallazgos señalan que recursos financieros más escasos alientan un mayor énfasis sobre la eficiencia. En Chile, Pacheco et al. (2014, 2021) examinan la eficiencia y sus determinantes mediante SFA, sus resultados muestran altos niveles de ineficiencia y que los municipios con mayores restricciones presupuestarios son más eficientes. Herrera-Catalán y Franckle (2009) en municipios peruanos concluyen que a mayor disponibilidad de recursos transferidos menor eficiencia en el empleo del gasto público.

Igualmente, en países de Asia se encuentran trabajos que tratan de explicar las ineficiencias encontradas; por ejemplo, Nakazawa (2013, 2014) examina el efecto sobre la ineficiencia en costes del proceso de amalgamación municipal llevado a cabo en Japón del 2000 al 2005. Sung (2007), para Korea, confirma el impacto positivo de la tecnología de la información sobre la eficiencia. Yusfany (2015) muestra que también los municipios de Indonesia pueden mejorar el rendimiento de sus servicios sin incrementar los gastos. Lewis (2018) analiza los efectos sobre la eficiencia de la forma de gobierno local evidenciando que aquellos municipios indonesios con ejecutivos locales elegidos directamente por los ciudadanos son menos ineficientes. Se encuentran ejemplos en África, como el trabajo desarrollado por Monkam (2014) en Sudáfrica; en el que tras analizar 231 municipios e investigar los factores potenciales de eficiencia, concluye que la autonomía fiscal y la

[56] Positiva en la regresión con los resultados DEA, negativa en SFA.

habilidad de los directivos de la administración influyen significativamente en los niveles de eficiencia productiva.

No obstante, es difícil extraer conclusiones transferibles de los estudios sobre los determinantes de la eficiencia llevados a cabo en otros países debido a las diferencias en la organización territorial de los mismos, a la diversidad de competencias que los gobiernos locales tienen asignadas en los diferentes países y a la gran variedad de entornos sociales, políticos, culturales e históricos que presentan (Milán-García et al., 2021). Incluso variables consideradas como factores no controlables en un país pueden ser responsabilidad del gobierno local en otro (Da Cruz y Marques, 2014). No obstante, sí proporcionan un marco teórico para explorar estos fenómenos en otros contextos geográficos (Afonso y Venâncio, 2020).

Así las cosas, se profundiza a continuación en las investigaciones desarrolladas en nuestro país.

En España, encontramos trabajos como Giménez y Prior (2007), quienes analizan, mediante fronteras no convexas, la ineficiencia en costes en una muestra de municipios catalanes, proponiendo su descomposición en las dimensiones de largo y corto plazo de la misma. Utilizando una regresión Tobit, obtienen que los municipios más grandes presentan una eficiencia relativa mayor que los pequeños; asimismo, una mayor actividad comercial y turística en el municipio reduce el exceso de coste, mientras que las variables relacionadas con las características de la población no muestran significancia estadística. Resultados similares se muestran en Balaguer-Coll y Prior (2009). Balaguer-Coll et al. (2002) muestran que los gestores públicos españoles tienen un amplio margen de mejora en el uso de recursos, si bien algunos municipios ven afectado su nivel de eficiencia debido a su alta capacidad financiera, que relaja su comportamiento eficiente, o a la importancia de la actividad comercial, que fomenta la gestión eficiente.

También los artículos de Balaguer-Coll et al. (2007, 2010, 2013) analizan la eficiencia municipal y sus determinantes desde distintas dimensiones. En el primero de los trabajos desarrollan un procedimiento de dos etapas totalmente no paramétrico, una primera etapa en la que miden la eficiencia de los municipios valencianos mediante DEA y FDH, y una segunda en la que utilizan técnicas de suavizado no paramétrico para estudiar los determinantes de la eficiencia. Señalan que la eficiencia decrece con mayores niveles de déficit, subvenciones recibidas e ingresos por tasas y cuando el porcentaje de votos del partido que gobierna en el

municipio es mayor. En esas situaciones los gobiernos locales son menos responsables en la gestión de los recursos. En el segundo de los trabajos estudian la relación de la eficiencia y la descentralización, pero los resultados no les permiten establecer si ésta es positiva o no en términos de eficiencia. En el último de los estudios dividen los municipios españoles en *clusters* en base a diez variables ambientales, y encuentran que las diferencias en la eficiencia de los distintos grupos son importantes.

En un trabajo más actual, Balaguer-Coll et al. (2019) además, de indagar sobre los determinantes de la eficiencia, investigan la existencia de interdependencia espacial constatando que los niveles de (in)eficiencia de los municipios vecinos impactan en el mismo sentido en la eficiencia de un municipio e identificando varios canales de interdependencia (cercanía geográfica, ideología y población similar). Desde una perspectiva diferente Balaguer-Coll et al. (2020) toman el índice de eficiencia como indicador de la calidad de la gestión municipal y analizan su efecto sobre el crecimiento económico. Revelando sus resultados que, las mejoras en eficiencia tienen un impacto positivo y significativo sobre el crecimiento económico.

En Benito et al. (2010) se analizan las diferencias en eficiencia de 31 municipios de la Región de Murcia en la prestación de diversos servicios (policía, cultura, deportes, zonas verdes, recogida de basura y suministro de agua). Estudian nueve posibles fuentes de (in)eficiencia, estando positivamente correlacionadas con la eficiencia, el tamaño de la población (salvo en el servicio de basuras), el esfuerzo fiscal y el endeudamiento (excepto en basuras), mientras que los resultados no son concluyentes para el tipo de gestión, ni para el signo político del partido en el gobierno local. En el mismo año, Zafra-Gómez y Muñiz evalúan la eficiencia en costes con respecto a la condición financiera; se revela que los municipios más eficientes no son los que presentan un mejor rendimiento de su estructura financiera.

Bosch et al. (2012) buscan identificar las características socioeconómicas que llevan a los ciudadanos a ejercer un mayor control de la gestión municipal. Queda patente que los municipios con una importante actividad comercial y un alto porcentaje de población jubilada presentan niveles de eficiencia más altos debido al exhaustivo control que ejercen, por intereses económicos o bajo coste de oportunidad de la información respectivamente, estos grupos. Igualmente, en

municipios catalanes, Cordero et al. (2017a) emplea un modelo condicional para analizar la eficiencia en un periodo de tiempo que abarca los años previos a la crisis financiera y el inicio de la recuperación, pudiéndose observar un descenso de los niveles de eficiencia en los años de bonaza económica. Asimismo, los mejores índices de eficiencia que presenta los municipios grandes, de entre 20.000-50.000 habitantes, durante todo el periodo indicarían el aprovechamiento de economías de escala de los mismos. El estudio de distintas variables socioeconómicas revela un impacto desfavorable sobre la eficiencia de una alta tasa de desempleo, renta *per cápita* y nivel de deuda.

Algunos estudios han investigado si las formas de gestión tienen efectos sobre la eficiencia. Así, los hallazgos de Cuadrado-Ballesteros et al. (2013) son ambiguos al respecto, ya que, aunque el proceso de externalización parece dañar el nivel de eficiencia de los municipios españoles, la creación de empresas públicas o mixtas por partidos de derechas lo favorece de forma significativa. Al estudiar si las formas de gestión derivadas de la NGP mejoran el nivel de eficiencia, Pérez-López et al. (2015) evidencian que el impacto depende principalmente de la naturaleza del servicio considerado.

Recientemente Narbón-Perpiñá et al. (2020) llevan a cabo un estudio sobre 1os municipios españoles en el que analizan la eficiencia y sus determinantes para el período de crisis 2009-2015. A través de un método (Regresión cuantil) rara vez empleado para incorporar variables ambientales, no solo analizan el efecto de los distintos factores sobre la eficiencia, sino que también ofrecen el impacto sobre los municipios dependiendo de su nivel de eficiencia. De esta manera, sus resultados muestran que el efecto positivo sobre el rendimiento económico de una alta densidad o del porcentaje de inmigrantes o de una elevada tasa de desempleo o del nivel de renta de los ciudadanos es aún más pronunciado en los cuantiles superiores donde se localizan los municipios más eficientes.

Por otro lado, están los trabajos que analizan el comportamiento de los municipios en un área o servicio concreto. Se encuentran ejemplos como Mathieson y Passell, (1976), Carr-Hill y Heineke (1979), Gyimah-Brempong, (1987, 1989), Cameron (1989), Nyhan y Martín (1999), Díez-Ticio y Mancebón (2002, 2003), Drake y Simper (2003,2005), García (2009), para los servicios policiales; Cuenca (1994), Athanassopoulos (1998), para los servicios de protección contra incendios; Viton (1998), Pina y Torres (2001) y Karlaftis (2004), para el transporte público; Nolan et

al. (2002), Thanassoulis (2000), Ancarani y Capaldo (2001), Tupper y Resende (2004), Woodbury y Dollery (2004), García-Sánchez (2006), García-Valiñas y Muñiz (2007), Haug (2008), Benito et al. (2019a, 2019b) estudian el suministro de agua; Thanassoulis (2002), Martínez-Córdoba et al. (2020) consideran la purificación y saneamiento de aguas; y Benito et al. (2014),o Wang et al. (2020) se centran en las instalaciones culturales.

A modo de resumen, se podría decir que una mayoría de estudios toman como indicador de inputs los costes totales del municipio o del servicio, según su enfoque. Respecto a los outputs, aunque el número de aplicaciones empíricas es elevado, la definición de los outputs sigue siendo una cuestión espinosa y, por tanto, la diversidad es mayor. Esto es debido tanto a la dificultad de encontrar un indicador apropiado para el producto de los servicios públicos, como a las limitaciones en la disponibilidad de datos. En cuanto a los factores explicativos de la (in)eficiencia, siguiendo a Worthington y Dollery (2000a) se pueden distinguir tres conjuntos de variables que suelen emplearse en los estudios empíricos: factores políticos, variables relativas a parámetros fiscales y factores que reflejan las características sobre la comunidad o el municipio.

Entre los primeros, se encuentran variables que expresan la fortaleza política del gobierno municipal, el signo político del partido gobernante o el porcentaje de votos obtenido. En el segundo grupo de variables, las más comunes son los ingresos fiscales derivados de tasas municipales, las subvenciones o transferencias recibidas desde niveles gubernamentales superiores o los pasivos financieros del municipio. Por último, las características del municipio recogen indicadores económicos –nivel de renta o riqueza, actividad económica (industrial, comercial o turística), geográficos, climáticos, tipología -urbano, rural-, densidad del municipio o población, superficie municipal, o formas de gestión –pública o privada. En cuanto a las características de la población se suelen utilizar la población desempleada, el nivel de estudios o población escolar, la proporción por edades-niños, jóvenes, adultos o mayores de 65, o la estacionalidad de la población.

En el análisis de determinantes de servicios específicos se suelen añadir factores que caracterizan al mismo, como antigüedad de la red de tuberías o extensión para el servicio de suministro de agua; toneladas recogidas de residuos o número de contenedores en el servicio de recogida de basuras; el número de los

vehículos correspondientes y antigüedad de los mismos en servicios de transporte urbano o policía; o actos de vandalismo en infraestructuras públicas.

Con posterioridad Da Cruz y Marques (2014) clasifican los determinantes del rendimiento local en base a su origen y tipo en cinco categorías: (1) condiciones naturales; (2) aspectos sociales, demográficos y económicos relacionados con el usuario de servicios públicos, (3) factores relativos a cuestiones regulatorias, políticas y económicas que definen el marco institucional de las DMUs; (4) condiciones heredadas de tipo espacial, técnico y económico; (5) los determinantes que describen las condiciones del mercado en el que opera la unidad evaluada. Por último, la taxonomía presentada en Narbón-Perpiñá y De Witte (2018b) cataloga las variables ambientales usadas en el contexto de los gobiernos locales en seis grupos (sociales y demográficos, económicos, políticos, financieros, geográficos e institucionales) y ofrecen información de su impacto sobre la eficiencia.

En los capítulos 5 y 6 se detalla la revisión bibliográfica de los estudios que han abordado específicamente los servicios analizados en esta investigación. La producción literaria en estos dos servicios es muy reducida en comparación con los estudios realizados en otras áreas municipales o en otros servicios públicos, como pueden ser la educación o la sanidad. Por ello, la realización de este estudio es una importante contribución al análisis de esos servicios, uno de ellos, alumbrado público, de prestación obligatoria para todos los municipios (ver Tabla 3) y de gran relevancia al aportar bienestar y seguridad ciudadana. Además, dado que el creciente desarrollo económico y legislación ambiental que le afecta exigien al mismo un esfuerzo extra para una adecuada gestión. El otro servicio (parques y jardines), se revela de vital importancia dado el actual estilo de vida donde para el cuidado de la salud y el bienestar se considera fundamental el acceso a zonas verdes al aire libre, siendo la demanda de este tipo de infraestructuras por parte de los ciudadanos cada vez mayor.

Tabla 3. Servicios mínimos en base a la población del municipio

Todos los municipios	Municipios con más de 5.000 habitantes	Municipios con más de 20.000 habitantes	Municipios con más de 50.000 habitantes
Alumbrado público	Parque público	Protección civil	Transporte colectivo urbano de viajeros
Cementerio	Biblioteca pública	Servicios sociales	Medio ambiente urbano
Recogida de residuos	Tratamiento de residuos	Prevención y extinción de incendios	
Limpieza viaria		Instalaciones deportivas	
Abastecimiento domiciliario de agua potable			
Alcantarillado			
Acceso a los núcleos de población			
Pavimentación de las vías públicas			

Fuente: a partir del art 26 de la Ley 7/1985, de 2 de abril, Reguladora de las Bases del Régimen Local

4.3. OBJETIVOS DEL ANÁLISIS

El objetivo del análisis empírico es analizar los determinantes de la eficiencia de los municipios españoles en la prestación de dos servicios: alumbrado público y parques y jardines.

Los objetivos específicos perseguidos con las aplicaciones empíricas de esta investigación se pueden concretar en:

i. Definir un conjunto de variables que caractericen el modelo empleado, especificando en primer lugar los inputs de los diferentes servicios tratados en base a las características y particularidades del servicio, de tal forma que se consigan identificar los recursos más relevantes en la gestión de los servicios alumbrado público y parques y jardines.

En segundo lugar, se seleccionarán los outputs resultantes de los servicios tratados y las aproximaciones intentarán reflejar la estimación de la demanda y/o el suministro del servicio y/o la calidad del mismo. Lo ideal sería poder recoger los tres tipos de outputs, pero no siempre será posible por la limitación de datos.

Finalmente se definirán aquellos factores ambientales que pueden afectar o determinar la gestión del servicio y, en consecuencia, el nivel de eficiencia de los municipios en base a una serie de características económicas, políticas, sociales, geográficas, etc.

ii. Verificación de la selección en base a la revisión bibliográfica realizada y a la específica del servicio considerado, que se realizará previamente.

iii. Estimación, en la primera etapa del análisis, de los índices de eficiencia relativa de cada municipio para las muestras disponibles de cada servicio.

iv. Búsqueda de los determinantes de esos índices de eficiencia mediante la interpretación de los resultados de la segunda etapa del análisis.

v. Aportación de información útil para los gestores municipales, ciudadanos, o cualquier otro agente económico interesado en las conclusiones de este estudio empírico.

4.4. METODOLOGÍA

Computacionalmente se utilizará el software estadístico FEAR 2.01, desarrollado por Wilson (2008), implementado en el lenguaje estadístico R (2017).

La metodología seguida para los dos servicios objeto de estudio es la misma y se resume en el siguiente procedimiento:

1. La población de las dos aplicaciones empíricas es la totalidad de los municipios españoles entre 1 000 y 50 000 habitantes (3 116 municipios[57]), lo que representaba una proporción del 38,4% sobre el total de municipios españoles y un 44,56% de habitantes vive en ellos. La población seleccionada representa un interesante conjunto de estudio que aglutina una elevada proporción de la totalidad de municipios españoles y de sus habitantes. La razón para eliminar los municipios con menos de 1 000 habitantes[58] es doble. La fiabilidad de los datos financieros es dudosa para los gobiernos locales pequeños, y algunas variables sólo están disponibles para gobiernos locales de más de 1 000 habitantes. Además, los municipios considerados suministran información para configurar la Encuesta de Infraestructuras y Equipamiento Local (EIEL) lo que aporta una valiosa fuente de información que permitirá una cobertura superior a otros estudios realizados mediante envío de cuestionarios.

2. La selección de variables, inputs, outputs y factores ambientales a incluir en el análisis se ha realizado en base a la revisión de la literatura efectuada previamente y la específica del servicio que se llevará a cabo en cada capítulo, y el marco institucional de los gobiernos locales españoles (Balaguer-Coll et al., 2010). El seguir los estándares comunes marcados en los estudios más relevantes, presenta la ventaja de la comparabilidad de los resultados con los obtenidos en otras investigaciones (Kalb et al., 2012).

3. Una vez seleccionada la muestra y definidas las variables, se inspeccionarán los datos con la intención de eliminar aquellos municipios con valores nulos o perdidos en alguna de las variables, lo que previsiblemente reducirá la muestra inicial de la que se parte.

---

[57] A 1 de enero de 2023, según el INE, el total de municipios españoles era 8 131, de los cuales 2.997 tienen entre 1.000 y 50.000 habitantes.

[58] Con datos del INE de 1 de enero de 2011, existían 4 855 municipios de menos de 1.000 habitantes, el 59,82% de los municipios españoles que solamente representan el 3,16% de la población residente en España. Actualmente, a 1 de enero de 2023 (últimos disponibles), el número de municipios de menos de 1 000 habitantes es de 4.982, lo que supone el 61,3% de los municipios españoles, y el 3% de la población española.
https://www.ine.es/dynt3/inebase/es/index.htm?padre=525

4. Se ha visto con anterioridad la alta sensibilidad de los resultados a los valores extremos o atípicos (outliers), requiriéndose una especial precaución con los mismos pues producen sesgo en los resultados y distorsionan la estimación de parámetros. A ese respecto, Wheelock y Wilson (2008, p. 12) comentan: *siempre es complicado en aplicaciones empíricas determinar por qué una observación es atípica y se requiere alguna interpretación subjetiva. Si es debido a una baja probabilidad de que se produzca, la unidad puede ser de interés para el análisis. Si es el resultado de ruido en la codificación, errores de medida o de otros errores, entonces este debe ser reparado o eliminadas.* Por ello, el siguiente paso será detectar y controlar esos valores (ver subepígrafe 4.4.1)[59]. Atendiendo a las sugerencias de distintos autores que argumentan que es difícil que un único método detecte todos los outliers cuando el número de dimensiones (input*x*output) es amplio (Simar y Wilson,2013), se aplicarán dos métodos sobre el conjunto de datos, Wilson (1993,1995) y Simar (2003).

5. En la primera fase del análisis, se calcularán los índices de eficiencia de los municipios de la muestra, para lo cual se asumirá la formulación del programa lineal DEA con una orientación hacia los inputs, donde se llevan a cabo varios pasos:

   5.1. Se resuelven los programas lineales formulados para los distintos modelos DEA básicos CCR (2.15), BCC (2.19) y NIRS (2.23), obteniendo las medidas de eficiencia Farrell para cada unidad bajo los tres supuestos. Analizando los resultados, se obtendrán los rendimientos en que operan los diferentes municipios y la eficiencia de escala, como el cociente entre el índice CRS y el VRS.

   5.2. Como complemento a los modelos radiales calculados (resueltos) en el punto anterior, se procederá a calcular los coeficientes de eficiencia SBM (Tone, 2001), lo que permitirá comparar los resultados de los índices en los distintos modelos, observando si las unidades calificadas como eficientes se mantienen y cuales desaparecen al tratar con las holguras.

[59] El lector puede abordar en este momento si lo prefiere la lectura de ese epígrafe.

5.3. Con el objetivo de analizar el tipo de rendimientos que presenta la tecnología de producción y tratar de determinar si el estadístico a utilizar es el DEA-VRS (2.19) o DEA-CRS (2.15) se aplicará el test establecido en Simar y Wilson (2011a, ver epígrafe 1.3.3.). Aunque en principio la escala VRS se presenta como preferible, ya que permite que cada unidad sea comparada con otras que operan en su misma escala; como se planteó en el subepígrafe señalado, es aconsejable contrastar empíricamente esta asunción, en este caso mediante procedimientos bootstrap. La librería FEAR 2.01 incluyó (junio 2015) entre sus rutinas la que permite utilizar este test estadístico. Se resolverán dos contrastes (ver tabla 4).

Tabla 4. Test basado en el estadístico 48 Simar y Wilson

Contraste 1	Contraste 2
H_0: DEA-CRS	H_0: DEA-NIRS
H_1: DEA-VRS	H_1: DEA-VRS

El número de replicaciones a realizar será el recomendado, 100 y el valor de α=0,05.

5.4. Recuérdese que estas medidas de eficiencia, si bien, eran consistentes, su ratio de convergencia era lenta y sufrían la "maldición" de la dimensionalidad (Simar y Wilson, 2007). En consecuencia, una vez seleccionado el estadístico DEA y calculadas las estimaciones de los índices de eficiencia a través de funciones distancia Sephard[60], se corregirán restándoles el sesgo calculado (2.30) aplicando el procedimiento bootstrap Simar y Wilson (1998 o 2000b)[61]. El número de replicaciones para el bootstrap es B=2.000. El algoritmo que allí se establecía fue

[60] La librería FEAR 2.01 implica trabajar con medidas de eficiencia tipo Shephard (1970). Recuérdese que las funciones distancia eran la inversa de las medidas Debrau-Farrell, por tanto, los coeficientes serán mayores o iguales a 1, cuanto mayor sean más ineficiente es el municipio (ver p.51).

[61] Ver epígrafe 2.2.3. para un mayor detalle.

computacionalmente implantado en el software estadístico FEAR 2.01 por Wilson (2008). Así, se obtendrán los coeficientes DEA con corrección de sesgo. Se determinarán, también, los intervalos de confianza para las medidas de eficiencia.

6. Se procederá a llevar a cabo el análisis de dos etapas bajo los requisitos y directrices establecidas en el segundo Algoritmo de Simar y Wilson (2007, p.42-43)[62]. La elección del Algoritmo-II se justifica por el mejor funcionamiento del mismo que demostraron Simar y Wilson (2007) para tamaños muestrales relativamente grandes, como cocurre en este caso.

   6.1. Inicialmente se llevará a cabo una primera etapa en la que se calcularán los índices de eficiencia mediante el DEA y serán corregidos mediante el primer bootstrap con 100 replicaciones para evitar el sesgo y la correlación de los índices.

   6.2. En la segunda etapa mediante una regresión truncada de los índices insesgados sobre los factores ambientales se realizará el análisis de determinantes.

7. La condición de separabilidad entre el espacio de inputs y outputs (X, Y) y el espacio Z de los factores ambientales o de entorno, constituye el pilar fundamental de los procedimientos de dos etapas, y supone que los factores determinan el nivel de eficiencia de una unidad pero no intervienen en el proceso productivo, es decir, el soporte de los outputs no depende de las variables ambientales en Z (Simar y Wilson, 2011b), pero esta condición de separabilidad es un supuesto restrictivo que es necesario testar (Simar y Wilson, 2015).

A este respecto, Simar y Wilson (2007, p. 35) establecen: *"tengan en cuenta que los supuestos A1 y A2 equivalen a la condición de separabilidad"*, sin embargo, las aplicaciones empíricas no suelen comprobar de momento este supuesto. Simar y Wilson (2011b, p.207) indican: *"la condición de separabilidad debería ser testada"*, además, Simar y Wilson (2015, p.97) afirman: *"el supuesto de separabilidad sigue siendo un supuesto restrictivo con necesidad de ser comprobado"* y de nuevo en Simar y Wilson

[62] Ver epígrafe 3.3.1. para una explicación más detallada.

(2015, p.102) hacen referencia a *"Daraio et al. (2010) para testar la condición de separabilidad en presencia de factores ambientales"* y añaden que aun *"faltan los resultados teóricos"*.

No hay un procedimiento consensuado para contrastar esta hipótesis. Por consiguiente, con la idea de testar el supuesto de separabilidad se han calculado los coeficientes de los determinantes analizados en cada servicio empleando las medidas de eficiencia condicionadas propuestas por Daraio y Simar (2005) y se han examinado las diferencias existentes entre estos coeficientes y los coeficientes no condicionales Simar y Wilson (2007). Se ha considerado que si las diferencias entre los coeficientes condicionales e incondicionales no son estadísticamente significativas, se puede concluir que la condición de separabilidad se verifica.

De este modo se han resuelto tres contrastes de hipótesis bilaterales no paramétricos: test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) de dos muestras, test de Mann-Whitney (M-W) y un bootstrap para el test Kolmogorov-Smirnov de dos muestras. Estas pruebas al ser no paramétricos no requieren Normalidad, que es muy conveniente dado que ante muestras[63] pequeñas la suposición de normalidad es arriesgada.

Para el cálculo de los test de K-S y el de M-W se ha empleado el software ORIGIN (2018)[64]. El test bootstrap de dos muestras K-s se ha resuelto en R usando la librería "matching"[65].

Igualmente, de acuerdo con lo analizado en el subepígrafe 3.3.1. otras condiciones previas como la independencia son comprobadas. Para las dos aplicaciones empíricas desarrolladas esta condición de independencia es satisfecha.

En los próximos dos capítulos se presentarán los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología detallada para cada uno de los servicios analizados.

---

[63] En nuestro caso las muestras estarán formadas por los coeficientes de los factores por lo que el tamaño muestral de las mismas varía entre 10 y 15 observaciones dependiendo del servicio.

[64] Origin, versión 2018. OriginLab Corporation, Nortampton, MA, EE.UU.

[65] R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/.

4.1.1. Tratamiento de los valores atípicos o extremos

Un outlier es una observación en un conjunto de datos que se desvía significativamente del patrón general del resto de las observaciones, es decir, *es inusual o atípica.* (Simar y Wison, 2013, p.297). Las razones por las que una observación puede ser atípica son diversas, pueden ser el resultado de errores en los datos, de la variabilidad extrema en el proceso subyacente, una baja probabilidad de haber sido generada por el mismo PGD o podrían indicar nuevos fenómenos o tendencias que no han sido detectados previamente (Wilson,1993; Simar y Wilson, 2015).

El uso de modelos determinísticos no paramétricos como el DEA, que construyen la frontera eficiente envolviendo todos los puntos de la muestra, provoca que los estimadores sean altamente sensibles a la presencia de outliers. Como consecuencia, Simar (2003) señala la importancia de detectar estas observaciones atípicas, aunque, en una configuración multivariante, la tarea es problemática

Para abordar este proceso no existe un procedimiento óptimo y se pueden encontrar en la literatura distintas opciones[66]. Dentro de las principales herramientas desarrolladas para la detección de outliers, en este trabajo, se van a exponer exclusivamente los diseñados en Wilson (1993, 1995) y en Simar (2003), ya que serán las técnicas que se aplicarán para depurar los datos de las muestras en las aplicaciones empíricas. Es importante, recordar que todos los métodos involucran cierta subjetividad (Simar y Wilson, 2015) y deben ser considerados como procedimientos de diagnóstico que identifican unidades que deberán ser sometidas a un mayor análisis (Simar y Wilson, 2013).

El método propuesto por Wilson (1993) parte del estadístico $R_L^i\left(XY\right)$ desarrollado por Andrews y Pregibon (1978) y lo extiende al caso múltiples outputs. Así, establece que si $S=\left\{1,...,n\right\}$ es un conjunto de *n* unidades, L es un conjunto similar de tamaño inferior que contiene *i* unidades tal que $L\subset S,\ i<n$. R_L^i, que representa el volumen geométrico en el espacio de inputs y outputs que ocupa un subconjunto de datos donde, obtenido al suprimir *i* observaciones, en comparación con el volumen total que ocupa el conjunto de datos completo.

[66] Se puede profundizar en el tema consultando las siguientes fuentes: Wilson (1993), Olesen et al. (1996), Simar yWilson (2013);

Aquellas unidades eliminadas, para las que se obtenga un valor del estadístico pequeño indicará que la presencia de estas en el conjunto original distorsiona la representación del resto de datos. Entonces, serán consideradas outlier. El estadístico se calcula para distintos valores de *i* con la finalidad de evitar el problema de enmascaramiento, es decir, que el efecto de un valor atípico enmascare el efecto de otro (Wilson, 1993).

El procedimiento estadístico descrito realiza un análisis gráfico del logaritmo de las ratios en función del número de observaciones eliminadas *i*:

$$\log\left[\frac{R_L^i}{R_{Min}^i}\right] \tag{4.1}$$

El numerador del índice es el estadístico Andrews y Pregibon (1978) que Wilson (1993) amplia para más de un output. El denominador de la ratio, R_{Min}^i, representa el valor mínimo que toma el estadístico para todos los $\binom{n}{i}$ posibles subconjuntos L de tamaño *i.*

El numerador del índice es el estadístico Andrews y Pregibon (1978) que Wilson (1993) amplia para más de un output. El denominador de la ratio, R_{Min}^i, representa el valor mínimo que toma el estadístico para todos los $\binom{n}{i}$ posibles subconjuntos L de tamaño *i.*

El gráfico mostrará los valores más pequeños de las ratios logarítmicas para cada *i* . Una línea conectará los segundos valores más pequeños para cada *i*. Así,vez obtenido el gráfico, será necesario examinar la separación de la línea respecto a las ratios mínimas. Cuando la separación entre la ratio logarítmica mínima y el segundo valor más pequeño sea relativamente grande, las unidades que integran *i* serán consideradas atípicas o outliers.

Aplicando el concepto de frontera de orden-m introducida por Calzals et al. (2002), Simar (2003) propone una metodología para detectar outliers. La técnica consiste en detectar aquellas observaciones que permanecen fuera de la frontera conforme m aumenta. Esto indicará la supereficiencia de la observación etiquetándola como atípica.

La metodología analiza los resultados obtenidos desde las dos orientaciones input y output, buscando aquellas unidades cuyos coeficientes de eficiencia son significativamente mayores que 1 en la orientación input, o sustancialmente

menores a 1 en la orientación output. En este sentido, Simar (2003, p. 43) recuerda que se quieren detectar aquellas unidades que realmente están fuera de la nube de puntos; por lo que, es importante establecer un valor límite (α) razonable, tal que, al superar, el índice de eficiencia para el seleccionado valor de m, ese límite ($1 \pm \alpha$) la observación será considerada posible outlier. Para la selección óptima de m *y* α, se sugiere la utilización de unos gráficos que muestran el porcentaje de puntos fuera de la frontera como función de eso parámetros (ver Simar, 2003).

Además, la técnica calcula el número de observaciones de la muestra que dominan a una unidad bien porque presentan mayor o igual volumen de outpus que ella (*Ninput*) en la orientación input, o bien; porque tienen un valor de inputs más pequeño o igual a ella (*Noutputs*) en la orientación outputs. La información que se deriva de estos valores es relevante a la hora de analizar si se debe desechar esa observación por considerarla atípica. Así, si toman valores extremos de *Ninput* (*Noutputs*) deben ser catalogados como outliers. Ahora bien, para confirmarse como tal es aconsejable analizar el comportamiento del índice de eficiencia en la otra dirección (Simar, 2003).

V – DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA EN EL SERVICIO MUNICIPAL DE ALUMBRADO PÚBLICO

V. DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA EN EL SERVICIO MUNICIPAL DE ALUMBRADO PÚBLICO

El objetivo del servicio de alumbrado público es iluminar las aceras, calzadas y parques públicos para garantizar una visibilidad adecuada en horario nocturno, con el fin de permitir el desarrollo de actividades, la circulación de vehículos y la seguridad ciudadana. Este servicio debe ser prestado por todos los municipios con independencia de su población. Además, los recientes desarrollos medioambientales exigen que se enfrenten a varios retos asociados a la mejora de la eficiencia, el ahorro energético, la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, la limitación del deslumbramiento y la contaminación lumínica.

Estos desafíos convierten a este servicio en un objetivo fundamental de la gestión municipal.

El capítulo se estructura en tres secciones. En la primera, se revisan los antecedentes de la literatura sobre este servicio. En la segunda, se especifican la muestra, los datos y sus fuentes. En la última sección se exponen los resultados del análisis y su interpretación.

5.1. ANTECEDENTES EN LA LITERATURA

Thiel et al. (2017) llevan a cabo una revisión de la literatura con la intención de ofrecer las aportaciones realizadas en relación con la evaluación del rendimiento de la gestión del servicio de alumbrado público. Su estudio clasifica las investigaciones llevadas a cabo en cinco categorías según el objetivo que persiguen: elección de tecnologías, eficiencia energética, planificación para la asignación de recursos, eficiencia técnica en la gestión y evaluación del nivel de rendimiento del servicio. La investigación que aquí se desarrolla y los antecedentes bibliográficos que se revisan en este epígrafe se ubicarían dentro del cuarto grupo de publicaciones, es decir, la evaluación de la eficiencia técnica del servicio y el estudio de sus determinantes.

La producción literaria es muy escasa para este servicio y solo se han encontrado dos estudios que lo analicen de forma individualizada en España. Por

tanto, los gestores del servicio de alumbrado municipal no han podido aprovechar el potencial que ofrece la evaluación del rendimiento (Thiel et al., 2017). Prado y García (2007) y Benito et al. (2020) constituyen los dos únicos referentes. Otros estudios han utilizado indicadores de resultados derivados de este servicio en estudios de enfoque global (Prieto y Zofío, 2001, Balaguer-Coll et al., 2002, 2007, 2010, 2013, 2019 y 2020; Balaguer-Coll y Prior, 2009; Zafra-Gómez y Muñiz, 2010; Pérez-López et al., 2015; Cordero et al., 2017a, 2017b; Narbón-Perpiñá et al., 2019a, 2019b).

Fijando la atención en los dos estudios referentes, se encuentran ciertas similitudes en los mismos. La metodología empleada en las dos investigaciones para el cálculo de los índices de eficiencia es la técnica no paramétrica DEA debido a las ventajas mencionadas anteriormente, y para el análisis de determinantes aplican una regresión truncada. Ambos utilizan la variable *superficie iluminada* como output, entre otras en el caso de Prado y García (2007) y el *número de puntos de luz* como uno de sus inputs. También coinciden en la elección de *área municipal, densidad de población,* y *número de horas de luz* como factores contextuales analizados como determinantes. Además, analizan si existe relación entre el tipo de propiedad con el que se gestiona el servicio y los niveles de eficiencia estimada; en el primer estudio, a través de un test no paramétrico, y en el segundo, incluyendo dos variables *dummy* en la regresión. No obstante, presentan diferencias reseñables referentes al tamaño muestral y al input monetario empleado.

El trabajo de Prado y García (2007) evalúa la eficiencia de 24 municipios españoles de más de 50.000 habitantes. Para ello, seleccionan cuatro inputs (recursos humanos, número de farolas, kilovatios consumidos y coste total) que utilizan en dos análisis distintos, por un lado, los inputs físicos y en un segundo análisis el input monetario, y tres outputs (número de metros cuadrados iluminados, el número de horas de luz y el número de horas que las farolas permanecen estropeadas) obteniendo una eficiencia media del 91,22% mediante DEA-VRS y una eficiencia de escala media del 77,11%. Usando como variable input el coste total, el nivel de eficiencia medio cae en 12 puntos situándose en un 79,38%. A través del modelo de dos etapas SW analizan la existencia de relación significativa con una serie de factores exógenos (superficie municipal, densidad de población, horas de luz solar anuales y actos de vandalismo). Sus resultados no reflejan relación significativa de ninguna de las variables con los índices de

eficiencia. Como causas de esa falta de significancia estadística señalan: las diferencias irrelevantes de las horas de luz entre unas ciudades y otras, los escasos actos de vandalismo, o el hecho de que el efecto de las variables superficie y densidad estén ya incluidas en el input número de m² iluminados. Por último, los resultados de la investigación de si el tipo de gestión, pública o privada, repercute en el nivel de eficiencia no reflejan incidencia significativa de esa variable.

La aplicación más reciente de Benito et al. (2020) se lleva a cabo en una muestra de 1.547 municipios españoles de más de 1.000 habitantes en un período de tiempo que comprende cuatro años, desde 2014 a 2017. Para calcular la medida de la eficiencia seleccionan como inputs las variables *número de puntos de luz*, *potencia contratada (kw)*, y *coste efectivo del servicio (€)*. El empleo de este input monetario es una novedad en la literatura. Los *m² de superficie iluminada* será la única variable output que represente el servicio prestado. La medida estimada de la eficiencia se sitúa en torno al 24% de media para cada uno de los años, con un ligero incremento en el ejercicio 2016. Del análisis de la eficiencia interanual se desprende que el 50% de los municipios mejoran su eficiencia respecto al año anterior. En este caso, la influencia de los factores no controlables sí aparece estadísticamente significativa, reflejando sus hallazgos un efecto desfavorable sobre los niveles de eficiencia de una alta concentración de la población, una extensa área urbana, elevada disponibilidad de recursos, un alcalde con ideología conservadora y el empleo de la gestión privada o mixta para la provisión del servicio.

De las conclusiones de uno y otro trabajo se desprende el potencial margen de maniobra de las administraciones públicas para tomar medidas que fomenten la gestión eficiente del servicio considerando los rasgos que caracterizan el entorno en el que opera el municipio.

A nivel internacional, hasta donde alcanza nuestro conocimiento, no existe ningún estudio específico en esta área.

La aplicación empírica que aquí se desarrolla pretende incrementar la escasa evidencia empírica, evaluando la gestión de los municipios de entre 1.000 y 50.000 habitantes. En concreto, el objetivo se centra en especificar y analizar las causas de las ineficiencias que sean detectadas, buscando la información necesaria que capacite la adopción de las medidas pertinentes para la mejora de la provisión de este servicio.

5.2. DATOS Y SELECCIÓN DE VARIABLES

La población de este estudio es la totalidad de los municipios españoles entre 1.000 y 50.000 habitantes (3.116 municipios[67]). La población seleccionada representa un interesante conjunto de estudio y, además, estos municipios suministran información para configurar la Encuesta de Infraestructuras y Equipamiento Local (EIEL), lo que aporta una valiosa fuente de información que permitirá una cobertura superior a otros estudios realizados mediante envío de cuestionarios. La encuesta EIEL es un inventario de ámbito nacional y carácter censal cuya finalidad es conocer la situación y provisión de todas las infraestructuras y equipamientos de competencia municipal, independientemente de quién sea el gestor o titular del servicio. Ésta constituye una herramienta dinámica de análisis cuantitativo y cualitativo, que permite evaluar las necesidades de los municipios para una mejor intervención que elimine los desequilibrios regionales. Ofrece datos de los municipios españoles (excepto para las Comunidades Autónomas del País Vasco, Navarra, Ceuta y Melilla) de menos de 50.000 habitantes y engloba todas las actividades de competencia municipal. Se obtuvieron datos para una muestra inicial de 1.240 municipios, lo que representa aproximadamente el 39,8% de la población.

A continuación, se describirán las variables que son consideradas más representativas en la prestación de este servicio. Esta selección se ha realizado en base a las revisiones literarias realizadas en este capítulo como en el anterior.

5.2.1. Indicadores inputs y outputs seleccionados para el análisis del servicio de alumbrado público

Con el objetivo de evaluar la eficiencia de los municipios se han determinado los indicadores inputs y outputs estableciéndose un modelo consistente en un conjunto de un imput y dos outputs.

Un indicador input común en estos tipos de estudio es el gasto del servicio, habiendo seleccionado en este caso la variable WPULIG, que representa la fuente

[67] Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero de 2011. Distribución de los municipios por provincias y tamaño de los municipios (https://www.ine.es/dynt3/inebase/es/index.htm?padre=525).

de recursos en el servicio municipal de alumbrado público. Se trata del gasto en alumbrado correspondiente al grupo de programas 165 "Alumbrado público" de la liquidación del presupuesto de gastos de una entidad local, en base a la Orden EHA/3565/2008, de 3 de diciembre. Los datos se han obtenido a partir de la información presupuestaria publicada por el Ministerio de Hacienda y Función Pública[68].

Se han seleccionado dos indicadores outputs que aproximan el producto final del servicio: número de puntos de luz (NLIGPO) y la potencia total instalada (POWER).

NLIGPO es usada en los estudios de Prado y García (2007) y Benito et al. (2020) como un input; sin embargo, se ha considerado más conveniente utilizarla como output dado que, como se ha señalado inicialmente, el objetivo del servicio es iluminar calzadas, aceras y parques, por lo que la iluminación y la calidad de la misma depende en gran medida del número de puntos de luz instalados en esos espacios. Por tanto, se cree que esta variable refleja tanto la calidad del servicio como el producto final ofrecido a los ciudadanos. Son varios los autores que la emplean como indicador output (Balaguer, 2004; Balaguer-Coll et al., 2002, 2007, 2010, 2013,2019, 2020; Balaguer-Coll y Prior, 2009; Cordero et al., 2017a; Narbón-Perpiñá et al., 2020; Narbón-Perpiñá et al., 2019a; Narbón-Perpiñá et al, 2019b; Pérez-López et al., 2015; Prieto y Zofío, 2001; Zafra-Gómez y Muñiz, 2010).

POWER recoge la potencia total instalada para el servicio de alumbrado público, expresada en kilovatios. Con esta variable se intenta aproximar el producto ofrecido por el servicio, siendo conscientes de que se trata de un output intermedio que permite el suministro del servicio más que un output final, pero ante la no disponibilidad de otro dato mejor en el momento de elaboración de la base de datos se optó por emplear esta proxy.

Los datos de las dos variables representativas del output del servicio fueron extraídos de la Encuesta de Infraestructuras y Equipamiento Local (EIEL) del Ministerio de Política Territorial y Función Pública[69].

---

[68] https://serviciostelematicosext.hacienda.gob.es/SGFAL/CONPREL

[69] https://eiel.redsara.es/descargas/ para los ejercicios analizados.

5.2.2. Factores explicativos seleccionados para el servicio de alumbrado público

El desarrollo del servicio municipal tiene lugar en un entorno caracterizado por una serie de factores exógenos fuera de su control pero que pueden afectar a la eficiencia relativa del municipio. De este modo, la ineficiencia detectada puede no ser ocasionada por una mala gestión sino por la existencia de este tipo de factores que condicionan negativamente la producción del servicio y el comportamiento de los gobiernos locales.

De esta forma, con la finalidad de alcanzar el objetivo propuesto por la investigación, se han seleccionado un conjunto de diez variables que persiguen describir las características financieras, de política fiscal, socioeconómicas y políticas del entorno municipal español.

El primer factor seleccionado pretende captar la capacidad fiscal del municipio. Varios autores han intentado buscar el poder explicativo de variables de política fiscal, como los ingresos fiscales, encontrándose entre ellos los trabajos de Vaden Eeckaut et al. (1993), De Borger y Kerstens (1996 a, b), Balaguer et al. (2007), Balaguer y Prior (2009), y Benito et al. (2010), Asworth et al. (2014), y Agasisti et al. (2016). Se pueden señalar dos efectos contrapuestos. Por un lado, una mayor presión fiscal sobre los habitantes de un municipio desarrollará en los mismos una mayor motivación para controlar el uso dado a sus impuestos, lo que derivará en una gestión más responsable por parte del gestor, que se sentirá vigilado, máxime si pretende permanecer en el poder. No obstante, puede darse la búsqueda por parte de los políticos de inputs más tangibles cuya apropiación sea más fácilmente justificable (Lyndsay, 1976). Asimismo, el contribuyente demandará mayor calidad y variedad de servicios prestados. Por otro lado, si esa vigilancia no es ejercida, teoría del principal y el agente, la mayor capacidad fiscal puede llevar a un uso irresponsable y derrochador de los recursos (De Borger et al., 1996a). En base a la existencia de evidencia empírica en ambos sentidos, incluso de relación no significativa (De Borge et al., 1994), no se asume a priori una preferencia por el signo de la posible relación de esta variable, si bien en una mayoría de los estudios (Balaguer-Coll et al., 2002, 2007; Moore et al., 2005; Balaguer y Prior, 2009; Asworth et al., 2014; Agasisti et al., 2016; Benito et al., 2020) se impone el efecto desfavorable de la holgada disposición de recursos financieros.

- TBURDEN. Refleja la presión fiscal sufrida por las empresas y ciudadanos del municipio. Es calculada como el cociente entre los ingresos de los capítulos 1, 2 y 3 del presupuesto liquidado de ingresos y la población. En esta variable incluyen los ingresos derivados de impuestos municipales directos e indirectos (capítulos 1 y 2) y los ingresos de las tasas y precios públicos (capítulo 3). Las fuentes de los datos son el INE[70] para el valor de la población municipal y los ingresos proceden del Ministerio de Hacienda[71].

Un factor interesante que analizar es la riqueza de los habitantes del municipio, que repercute en la capacidad de financiación del mismo y por ende puede afectar a su nivel de eficiencia relativa. Son varios los estudios que analizan el efecto de la riqueza en la eficiencia, normalmente medido por el nivel de renta, según se ha visto en la revisión de la literatura. Algunos de ellos encuentran una relación positiva (Benito et al., 2012; Agasisti et al., 2016) lo que sugeriría que ante el mayor pago de impuestos que de esta situación se derivaría, el contribuyente exigiría más calidad en el servicio prestado por lo que ejercería una mayor vigilancia sobre la gestión del ejecutivo local que llevaría a enfatizar el uso eficiente de los recursos. Por el contrario, otros hallan que un mayor nivel económico se asocia a una mayor ineficiencia (De Borger et al., 1996, Balaguer-Coll, 2007) o una menor presión por desarrollar una gestión eficiente (Spann, 1977; Silkman y Young, 1982). Giménez y Prior (2003) concluyen que las diferencias en el nivel económico no son significativas a la hora de valorar la eficiencia. En principio, se espera encontrar un impacto negativo de esta variable sobre la eficiencia, tanto por la mayor evidencia científica al respecto como por el hecho de que el alto coste de oportunidad de obtener información relevante que permita controlar la gestión municipal y del tiempo (De Borge y Kerstens,1996b), parece desincentivar al contribuyente.

Con la idea de aproximar el nivel de riqueza se han tomado dos factores, INCOME y HOUSEV. La inclusión de estas variables contribuirá a determinar si una población más enriquecida impone una mayor presión a los gobiernos locales exigiendo una prestación de servicios más eficiente.

[70]Padrón municipal: https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=29005&L=0
[71] https://serviciostelematicosext.hacienda.gob.es/SGFAL/CONPREL

- INCOME, nivel de renta municipal. El dato procede del Instituto de Predicción Económica L.R. Klein dependiente de la Universidad Autónoma de Madrid. Se trata de un indicador de renta estimado para cada municipio, el cuál es dividido en 10 categorías, desde el más pobre (nivel 1) al más rico (nivel 10).

- HOUSEV es el valor catastral urbano total del municipio dividido por el número de bienes inmuebles. Esta variable ofrece una aproximación, junto a INCOME, del nivel de riqueza de los habitantes del municipio. Un mayor valor catastral por inmueble representa un mayor nivel de riqueza de la población. En consecuencia, el efecto esperado sobre la eficiencia relativa municipal es el mismo. La fuente de datos es la Dirección General del Catastro[72].

El siguiente factor capta las características demográficas de los municipios analizados. Este factor ha sido incluido en distintos análisis de eficiencia a lo largo de los años, pues condiciona en gran medida la provisión del servicio público (entre otros, De Borger y Kerstens, 1996a;Athanassopoulos y Triantis, 1998; Geys, 2006; Prado y García, 2007; Giménez y Prior, 2007; Afonso y Fernándes, 2008; Kalb, 2010; Geys et al., 2013; Asworth et al., 2014; Da Cruz y Marques, 2014; Lampe et al., 2015; Agasisti et al., 2016; Lo Storto, 2016; D´Inverno et al., 2018; Balaguer-Coll et al., 2019; Afonso y Venâncio, 2020; Basílio et al., 2020; Benito et al., 2020). No es lo mismo un municipio con escasa superficie a iluminar que uno más extenso donde la población se hallará más dispersa, rural o urbano, con mayor o menor extensión de carreteras, etc. Para intentar acaparar el efecto de esos rasgos diferenciadores se ha definido la variable:

- PDENSURB, densidad de población por kilómetros cuadrados urbanizados. Atendiendo a lo señalado por Hortas y Solé-Ollé (2010) se ha considerado más apropiado analizar el efecto de la densidad de población considerando solamente la superficie urbanizada. Los datos sobre la población proceden del INE y los km^2 de suelo edificado de la Dirección general del Catastro.

  En principio, se espera encontrar un efecto positivo de esta variable asociado a la reducción de costes que supone una población más concentrada (menor superficie a iluminar, menor necesidad de puntos de luz, organización más sencilla, menor desplazamiento para su mantenimiento), lo que permitirá

[72] https://www.catastro.hacienda.gob.es/esp/estadisticas.asp

aprovechar economías de escala en la provisión del servicio. Este efecto positivo se ha evidenciado en varias publicaciones (De Borger y Kerstens, 1996a; Sampaio de Sousa et al., 2005; Sung, 2007; Geys et al., 2010; Loikkanen et al., 2011; Radulovic y Dragutinović, 2015; Yusfani, 2015; Lo Storto, 2016; Cordero et al., 2017b; Narbón-Perpiñá et al., 2020). Sin embargo, no hay consenso sobre la influencia de esta variable en la literatura (ver tabla A.1. en anexos), ni siquiera en los estudios llevados a cabo en el mismo servicio y en el mismo país como es el caso de los trabajos anteriormente mencionados de Prado y García (2007), donde aparece estadísticamente insignificante, y de Benito et al. (2020) donde muestra una influencia negativa sobre la eficiencia.

Conjuntamente se analiza el comportamiento del índice de eficiencia respecto a factores políticos, recogidos en dos variables que ayudan a caracterizar a los municipios:

- HERFINDAHL. Este índice representa la fragmentación política del gobierno municipal. El índice Herfindahl-Hirschman se calcula como la suma al cuadrado de las proporciones que representan el número de escaños que tiene cada partido en el parlamento, mediante la siguiente fórmula:

$$HHI = \sum_{p=1}^{P} \left(\frac{número\ de\ concejales\ del\ partido\ p}{total\ de\ concejales}\right)^2 \qquad (5.1)$$

Donde P es el número total de partidos en el órgano legislativo y el cociente representa la proporción de concejales de concejales de cada partido en el gobierno local. El valor del índice varía de forma inversa a la fragmentación política. Así toma valor cero cuando la fragmentación política es máxima (cada concejal pertenecería a un partido político diferente), y al tomar el valor 1 representará la máxima fortaleza. Un fuerte liderazgo político del gobierno local, es decir, si gobierna en mayoría, se asocia a una mayor eficiencia (Vanden Eeckand et al., 1993; Borge et al., 2008), tanto por las ventajas de poder imponer un presupuesto con menor despilfarro de recursos como por un mayor poder negociador con diversos agentes económicos (Borge y Haraldsvik, 2009). Por el contrario, los partidos en coalición pueden afectar a la ineficiencia debido al arbitraje en las negociaciones que puede llevar a concesiones demasiado costosas durante el proceso de formación del gobierno; el trabajo de De Borge

et al. (1994) apoya débilmente esta hipótesis. El empleo de este índice como indicador de la fortaleza política de un gobierno local viene abalado por su uso en multitud de investigaciones (entre otros. Rattsø y Tovmo, 2002; Borge, 2005; Hagen y Vabo, 2005; Borge et al., 2008; Benito y Bastida, 2008; Benito et al.,2014, 2020).

A priori la hipótesis sería que una mayor fortaleza (concentración) política del partido gobernante implicaría mayores niveles de eficiencia. Aun así, una alta concentración implicará una baja competitividad política lo que en principio reduciría la eficiencia (Ashworth et al., 2006) al igual que una oposición fragmentada (Ashworth et al., 2014); por consiguiente, hay estudios que encuentran un impacto negativo sobre la eficiencia procedente de la fortaleza política (Kalb et al., 2012; Pérez- López et al., 2015;)Los datos se han obtenido del Ministerio del Interior.

- POLITICS, factor *dummy* que recoge el signo político del partido gobernante, 0-progresistas (izquierda) y 1-conservadores (derecha). Dada la ambigüedad señalada en la literatura respecto a esta variable no se asume preeminencia de un signo político frente a otro.

El último grupo de factores incluidos en el análisis de determinantes ayudan a analizar el perfil económico del municipio. Se Incluyen cuatro variables exógenas a partir de la información suministrada por el Anuario de la Caixa:

- ININD, representa el índice industrial y se calcula en función de la cuota tributaria del Impuesto de Actividades Económicas (IAE) de la industria. Aunque en ocasiones no se ha encontrado relación significativa de este factor con la eficiencia (Giménez y Prior, 2007; Geys y Moosen, 2009a) es interesante incluirlo ya que un municipio con industria requerirá mayor inversión en infraestructuras, lo que, según Athanassopoulos y Triantis (1998), mejorará la eficiencia en costes; en consecuencia, se espera que un municipio de configuración industrial contribuya favorablemente a mejorar la responsabilidad en el manejo de los recursos empleados en la prestación de este servicio público. Puede llevar también a elevar los impuestos con los que cubrir ese mayor gasto en inversión lo que podría aumentar la capacidad fiscal y relajar el comportamiento presupuestario restrictivo. Esta última situación se

ha planteado en Balguer-Coll et al. (2013). Desde el punto de vista de la relación inversa, Geys y Moosen (2009a) plantean que un municipio más eficiente puede atraer más inversiones, negocios o residentes acaudalados, llegando entonces a adquirir un carácter más industrial.

- ICOMM, ofrece el índice comercial. Se cree que la mayor o menor importancia de la actividad comercial en el municipio puede influenciar el coeficiente de eficiencia estimado alcanzado por el mismo. Este tipo de factores se han analizado especialmente en los estudios llevados a cabo en nuestro país, los primeros en ofrecer esa información serán Giménez y Prior (2003) detectando que el gestor se siente más presionado a estructurar eficientemente la provisión de los servicios públicos conforme aumenta el índice de actividad comercial en el municipio. A la misma conclusión llegan en Balaguer-Coll et al. (2002), Giménez y Prior (2007), Balaguer-Coll y Prior (2009), Bosch et al. (2012), y Pacheco et al. (2021).

- ITURIST, informa sobre el carácter turístico o no del municipio. Este aspecto tiene relevancia en la provisión del servicio tratado puesto que una mayor afluencia de turistas implica una mayor demanda y gasto; en consecuencia, mayor necesidad de infraestructuras derivadas de este servicio que cubran las necesidades de iluminación de edificios emblemáticos, museos, plazas, paseos marítimos o del desarrollo del ocio nocturno que se verá incrementado. Además, la demanda de un servicio de mayor calidad que lleva aparejado (Sampaio de Sousa y Stošić, 2005). Adicionalmente, estaría el efecto que la población estacional (si la mayor afluencia de turistas se concentra en una época del año) ocasionará sobre la capacidad del gestor del servicio para prever las necesidades a cubrir. Como señalan Bosch et al. (2012) una cuantiosa y desvinculada población estacional puede llevar a realizar inversiones que exclusivamente se utilicen durante una época del año o a no cubrir convenientemente las necesidades en esas fechas. La mayor parte de los estudios revisados presentan un impacto negativo, en consecuencia, se espera un impacto desfavorable en la eficiencia. Sin embargo, algunos estudios hallan

la relación opuesta (Giménez y Prior, 2007; Pérez-López et al., 2015; Cordero et al., 2017b; Benito et al., 2020), o no significativa (Balaguer-Coll et al., 2002; Balaguer-Coll y Prior, 2009; Geys y Moosen, 2009; Benito et al., 2010; Lampe et al., 2015; Balaguer-Coll et al., 2019), dejando constancia de la ambigüedad existente respecto al signo con el que este factor impacta a la eficiencia.

- IACTEC, índice de actividad económica. Se empleará este indicador como una aproximación a la situación económica del municipio. Un alto nivel de actividad económica presupone un bajo índice de pobreza en el municipio, tanto por la mayor oferta de empleos (que asegura una renta a la población), como por la mayor recaudación por impuestos que repercutirá directamente en una mayor capacidad fiscal, y más facilidad para obtener recursos (Balaguer-Coll et al., 2002); por consiguiente, menos motivación para actuar eficientemente. Si bien, son varios los que no encuentran relación estadísticamente significativa de las variables que aproximan el estatus económico de un municipio (Balaguer-Coll et al., 2002 y 2009; Benito et al., 2010; Pacheco et al., 2021).

Hubiera resultado conveniente considerar las condiciones climatológicas del municipio que podrían afectar a la necesidad de aumentar la luminaria oportuna en carreteras para una correcta visibilidad, pero de nuevo la falta de datos al respecto no ha permitido considerar este factor, si bien ello no invalida la propuesta, dado que pensamos que las variables elegidas resultan suficientes para caracterizar la eficiencia del servicio estudiado.

Una vez especificadas las variables a incluir en las distintas etapas del análisis se procede a presentar los resultados de la aplicación empírica.

5.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS EMPÍRICO

En la presentación de los resultados se seguirá el esquema propuesto en la metodología (epígrafe 4.4.).

Se señalan a continuación los resultados obtenidos en las distintas fases del análisis, así como la interpretación de los mismos teniendo presente que la

finalidad perseguida es la búsqueda de los determinantes de la (in)eficiencia. La tabla 5 muestra el marco de análisis propuesto.

Tabla 5. Selección de variables para el servicio de alumbrado público

Descripción	Notación	Variable	Indicador
Input	X_1	WPULIG	Gasto alumbrado público (grupo 165)
Output	Y_1	NLIGPO	Número de puntos de luz
	Y_2	POWER	Potencia total instalada para el servicio
Factores exógenos	Z_1	TBURDEN	Presión fiscal (ingresos, capítulos 1, 2 y 3)
	Z_2	INCOME	Renta municipal
	Z_3	PDENSURB	Densidad de población por km2 urbanizado
	Z_4	HOUSEV	Valor catastral/número de bienes inmuebles
	Z_5	POLITICS	Signo político
	Z_6	HERFINDALH	Fortaleza política
	Z_7	ININD	Índice industrial
	Z_8	ICOMM	Índice comercial
	Z_9	ITURIST	Índice turístico
	Z_{10}	IACTEC	Índice de actividad económica

Fuente: Elaboración propia

5.3.1. Depuración de los datos

En nuestra base de datos se dispone inicialmente de información para una muestra de 1.240 municipios. Tras escrutar los datos aparecen 606 municipios para los que no existen cantidades en alguna variable o son erróneos, TBURDEN, PDENSURB, y HOUSEV. Queda finalmente una muestra compuesta por 634 municipios.

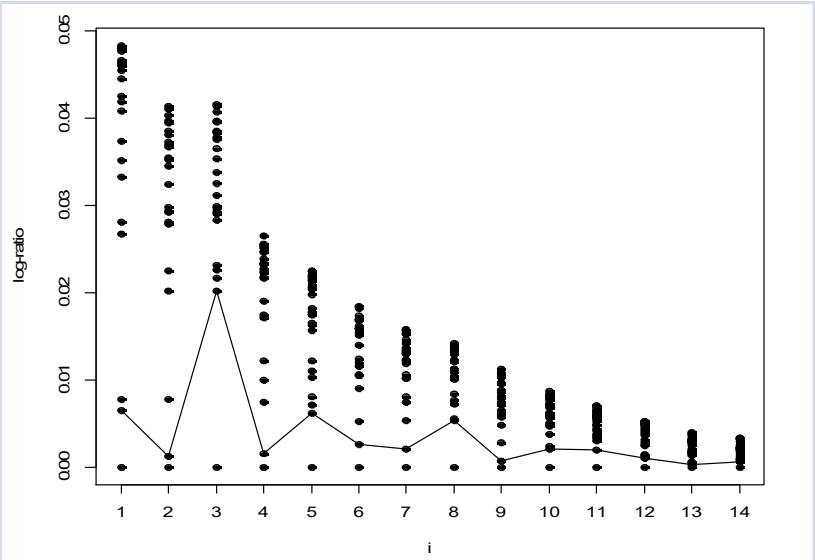
Los valores extremos o atípicos constituyen una fuente de problemas que era imprescindible enfrentar antes de comenzar el análisis, ya que incluso en muestras grandes el efecto de estos valores puede aumentar el ruido afectando a la precisión y eficiencia de las estimaciones. Por tanto, se procede a emplear Wilson (1993) para identificar y eliminar esas variables. El proceso será aplicado tantas veces como se

considere necesario para alcanzar la pretendida homogeneidad de la muestra y evitar el efecto enmascaramiento, de tal forma que esos valores no perturben el cálculo de la frontera eficiente y en consecuencia las medidas de eficiencia relativa de los municipios evaluados.

En esta aplicación no ha sido necesario repetir el procedimiento para la obtención de una muestra apropiada. No se ha considerado oportuno eliminar los municipios identificados en la primera realización, ya que no está claro que las divergencias se deban a la atipicidad de los municipios derivada de ruidos en la codificación, errores de medida u otros, y la muestra presenta una alta homogeneidad.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras la realización del procedimiento.

Figura 14. Análisis de valores atípicos para AP. Log-ratio



Fuente: Elaboración propia

El gráfico de la Figura 14 muestra el resultado del primer proceso de depuración de datos, para el cual se ha eliminado la variable dicotómica POLITCS. La línea que une los segundos valores log-ratios más bajos para cada i no presenta saltos pronunciados respecto a los valores mínimos. Se aprecia un salto muy leve en i=3 que podría apuntar como posibles valores atípicos a tres observaciones; sin embargo, el log-ratio no es suficientemente alto, por lo que el resultado de Wilson

parece indicar que no hay ningún outlier claro. En i=4 la separación disminuye drásticamente, y conforme incrementa i la separación podría considerarse despreciable, motivo por el cual no se calificarían más observaciones como posibles outlier. No obstante, para valores bajos de i, no suele ser fiable catalogar como outlier a una unidad.

Tabla 6.Valores atípicos en los datos de AP. Valores de $R_{Min}^{(i)}$

i	Municipios														$R_{Min}^{(i)}$
1	475														0,938236
2	278	475													0,8838512
3	470	278	475												0,8313351
4	101	470	278	475											0,796659
5	269	101	470	278	475										0,7637882
6	606	269	101	470	278	475									0,7357114
7	588	606	269	101	470	278	475								0,7100734
8	146	588	606	269	101	470	278	475							0,6864387
9	570	146	588	606	269	101	470	278	475						0,6665872
10	570	300	146	588	606	269	101	470	278	475					0,6475583
11	39	570	300	146	588	606	269	101	470	278	475				0,629933
12	624	39	570	300	146	588	606	269	101	470	278	475			0,6138003
13	511	624	39	570	300	146	588	606	269	101	470	278	475		0,5983653
14	53	511	624	39	570	300	146	588	606	269	101	470	278	475	0,5831165

Fuente: Elaboración propia

Si se busca en la matriz de datos (Tabla 6) los responsables de esa sutil discrepancia se detectan tres municipios, correspondientes a las observaciones 470, 278 y 475 respectivamente: San Javier, Salou y Lliça de Amunt. El municipio que aparece para todos los valores de i es el 475, San Javier. Tal vez su atipicidad en alumbrado tenga que ver con que el municipio cuenta con aeropuerto, su gasto es uno de los más elevados sólo por detrás de Salou (mun470), también señalado en i=3. Salou es una ciudad muy turística dónde está ubicado el parque de atracciones Port aventura. Analizada la información disponible de los tres municipios contenidos en i=3 no se encuentran errores en los mismos, se determina no eliminarlos, los rasgos especiales de estos municipios no los convierte en outlier. Como Simar (2003) señala, se espera que los valores marcados por el procedimiento de Wilson sean diferentes, a excepción de las unidades que realmente son extremas.

También Wheelock y Simar (2008) señalaban la conveniencia de incluir aquellos valores que son realmente extremos debido a la escasa probabilidad de que éstos ocurran y, por tanto, su inclusión en el análisis si es de interés.

Se puede apreciar también en la tabla que desde i ≥ 3 los tres municipios señalados siguen apareciendo por lo que ninguna otra observación está enmascarando el efecto de 470, 278 y 475, no se aprecian observaciones que desaparezcan conforme avanza i, por lo que no parece que haya observaciones que enmascaren el efecto de otras. A posteriori, tras la estimación de los coeficientes de eficiencia, se observa que ninguna de esas DMUs forma parte de la frontera eficiente lo cual refuerza la decisión de no haberlas eliminado como outliers puesto que no son empleadas como referentes en la evaluación comparativa, y en consecuencia no afectan a los índices de eficiencia del resto de unidades.

Con la intención de confirmar que no existen outlier en la muestra se procede, tras la aplicación de Wilson (1993,1995), a emplear el método planteado en Simar (2003 más robusto respecto al efecto enmascaramiento. El proceso, como se indicó en el capítulo 4 epígrafe 4.4.1., se basa en un análisis de sensibilidad relativo a diferentes valores de *m* que permitirá computar los coeficientes de orden-m y en base a ellos detectar outliers. Tras el cálculo de los coeficientes de orden-m para 6 valores de m, 10, 25, 50, 75, 100 y 150 se investigan los resultados con el objetivo de localizar observaciones supereficientes, es decir, con un valor del coeficiente estimado de eficiencia de orden-m mayor a 1 en la orientación input, menor a 1 en la orientación output. Se lleva a cabo tanto en un enfoque sobre los inputs como sobre outputs y 200 replicaciones bootstrap.

En las tablas 7 y 8 se muestran una selección de los resultados considerando ambos enfoques, sobre input y sobre output respectivamente.

Tabla 7. Coeficientes de orden-m para AP orientación input (AP)

	Valor de m	10	25	50	75	100	150
	Valor de B	200	200	200	200	200	200
	Orientación	Input	Input	Input	Input	Input	Input
MUNICIPIO	mun	Scores	Scores	Scores	Scores	Scores	Scores
Sorbas	mun537	19,414260	7,3925217	4,5998737	2,5938002	2,2695025	1,6136465
Cuervo de Sevilla (El)	mun209	13,835438	6,0676321	3,6702338	2,4899123	1,979672	1,385558
Tiana	mun556	10,971814	5,1021056	3,2085394	2,3559877	1,916156	1,610991
Coronil (El)	mun197	6,9176144	2,6650859	1,3315497	1,1201544	1,061319	1,008491
Tazacorte	mun550	4,55841541	2,20202691	1,25016935	1,1461504	1,046790	1,013368

Fuente: Elaboración propia

La tabla 7 muestra los municipios susceptibles de ser atípicos desde la perspectiva de los inputs. El procedimiento señala cinco posibles candidatos a outliers pero el valor del índice va disminuyendo significativamente, acercándose al valor unitario conforme el parámetro de ajuste m va aumentando por lo que se descarta que esos municipios representen unidades atípicas debidas al ruido o a errores.

No obstante, se analizan para las unidades en las que el índice supera el límite del α=0.3 los valores de N_{input} (indica el número de puntos de la muestra con un mayor valor del output). Al calcular los N_{input} se comprueba que, para las dos unidades, mun537 y mun556, el número de unidades que las dominan es elevado, 321 y 254 municipios, respectivamente, presentan mayor o igual al nivel de outputs de los municipios analizados. Por lo que se comprueba que N_{input} no toma valores extremos cercanos a 0 o al total de la muestra, eso hace descartar esas dos unidades como outliers.

Se perciben, desde el enfoque a los outputs (Tabla 8), trece municipios dudosos; sin embargo, el valor del coeficiente de orden-m aumenta a la par que m. El valor del índice para esos municipios no es substancialmente menor a 1. Así , como señala Simar (2003) en su trabajo, el objetivo es marcar aquellas unidades que claramente están fuera de la nube de puntos y solamente etiquetar como outlier aquellos que superen el límite α establecido, que debe ser suficientemente amplio. En este caso, como se comprueba en la tabla 8, las unidades presentan menos del

1,6% de supereficiencia. Por ello, y una vez considerada detenidamente la información disponible de esos municipios se considera conveniente no eliminarlos de la muestra.

Tabla 8. Coeficientes de orden-m. Orientación output (AP)

	Valor de m	10	25	50	75	100	150
	Valor de B	200	200	200	200	200	200
	Orientación	Output	Output	Output	Output	Output	Output
MUNICIPIO	mun	Scores	Scores	Scores	Scores	Scores	Scores
Villarrobledo	mun619	0,8087302	0,9324741	0,9739611	0,9828716	0,9895624	0,9946385
Noreña	mun363	0,8090636	0,9166955	0,9500495	0,9669407	0,9718337	0,9845505
Langreo	mun269	0,8373856	0,9236893	0,9600786	0,9736257	0,982526	0,9958798
Almazora	mun036	0,8480096	0,9309766	0,9720622	0,981106	0,9864049	0,9901721
Salou	mun470	0,871493	0,9570715	0,9767645	0,9865311	0,9926914	0,9977842
Arcos de Jalón	mun061	0,892502	0,9507511	0,9774045	0,9842066	0,9899013	0,9936525
Tortosa	mun572	0,9006324	0,9512425	0,9764965	0,9868794	0,9925174	0,9989095
Calamocha	mun134	0,9066835	0,9621801	0,9810017	0,9875168	0,9915488	0,9954377
Zalamea de la Serena	mun631	0,9207078	0,9764304	0,9912426	0,9973473	1	1
Sant Feliu de Llobregat	mun489	0,9391375	0,9840093	0,9922844	0,9962937	0,9975408	0,9984149
Santa Bàrbara	mun500	0,9402838	0,9785546	0,9907143	0,9959244	0,996958	0,9985882
Castell (Es)	mun173	0,9565625	0,9840046	0,9936574	0,9968171	0,9983912	0,9996412
Mota del Cuervo	mun343	0,9574074	0,9829977	0,9935764	0,9970023	0,9987037	0,999838

Fuente: Elaboración propia

Los municipios de San Javier y Lliçà d´Amunt, detectados débilmente como potenciales valores atípicos mediante el procedimiento Wilson (1993,1995) no han sido marcados por el de Simar (2003) ni desde el punto de vista de los inputs ni desde el de los outputs. El mun470, Salou, solamente ha sido señalado como sospechoso en la orientación output, pero descartado por aumentar su índice hasta alcanzar prácticamente el valor unitario. La aplicación de ambos procedimientos da robustez a los resultados y asegura una muestra homogénea y, por tanto, adecuada para aplicar el análisis envolvente de datos en el cálculo de los índices de eficiencia.

La tabla 9 presenta el resumen descriptivo de las variables para alumbrado público.

Tabla 9. Resumen estadístico para la selección de variables en AP

VARIABLE	Media	Desviación Típica	Mínimo	Máximo
WPULIG	374245,04	333793,94	3400,14	2285339,25
NLIGPO	2467,78	2484,31	70	18188
POWER	14137,75	240871,93	6	899543
TBURDEN	536,66	292,58	136,4	2970,91
INCOME	5,33	2,29	1	10
PDENSURB	7561,37	4985,33	1132,18	73804,74
HOUSEV	45,64	30,10	6,82	207,86
POLITICS	0,64	0,48	0	1
HERFINDAHL	0,42	0,10	0,19	1
ININD	25,26	40,93	1	452
ICOMM	21,89	23,14	1	126
ITURIST	25,71	94,27	1	1240
IACTEC	20,05	22,56	1	180

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Índices de eficiencia DEA

Se indaga en primer lugar sobre los niveles de eficiencia técnica pura y de escala con el propósito de determinar el estadístico más apropiado para calcular los índices de eficiencia, DEA-CRS o DEA-VRS.

Para ello, se calculan los coeficientes de eficiencia bajo los tres modelos básicos DEA CRS, VRS y NIRS, a partir de los cuales se averiguará la escala de los rendimientos. Se mantiene la orientación en inputs por las razones ya argumentadas anteriormente.

Tabla 10. Medidas de eficiencia DEA-CRS-VRS-NIRS para el servicio AP

PROVINCIA	MUNICIPIO	CRS	VRS	NIRS	EE	RTS
Alicante	Algorfa	1	1	1	1	CRS
Sevilla	Coronil (El)	1	1	1	1	CRS
S. Cruz Tenerife	Tazacorte	0,65721	1	1	0,65721	DRS
Almería	Sorbas	0,37913	1	0,3791	0,37913	IRS
Badajoz	Alburquerque	0,34048	1	1	0,34048	DRS
Cuenca	Mota del Cuervo	0,09316	1	1	0,09316	DRS
Soria	Arcos de Jalón	0,03637	1	1	0,03637	DRS
Tarragona	Santa Bàrbara	0,03254	1	1	0,03254	DRS
Asturias	Noreña	0,01836	1	1	0,01836	DRS
Castellón	Almazora	0,00816	1	1	0,00816	DRS

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 10 muestra los resultados de los municipios que son considerados "mejores prácticas" en cada caso. Así, se observa que considerando rendimientos constantes a escala solamente dos municipios son considerados técnicamente eficientes en relación a los otros 632. Algorfa (Alicante) y El Coronil (Sevilla) son los únicos municipios eficientes bajo cualquier modelo y con escala óptima. Ambos municipios comparten determinados rasgos. Son municipios de bajo nivel económico, presentan niveles de renta de 4 y 1 respectivamente, su valor catastral está significativamente por debajo de la media, con muy escasa actividad económica, industrial y comercial y con una alta densidad. Son numerosos los estudios[73] que confirman esta relación negativa entre nivel económico y eficiencia del municipio justificándola por la falta de interés de los gestores de municipios ricos en ser austeros en el gasto, en la segunda fase de esta investigación se comprobará si se cumple esta primera impresión. En cuanto al signo político del gobierno local son contrapuestos, mientras Algorfa es conservador el de El Coronil es progresista, refleja la ambigüedad que se ha comentado en la selección de variables. Observando las medidas de eficiencia Debrau-Farrell en esta escala constante el mínimo valor es de 0,001103 del municipio Cuarte de Huerva

[73] Sampaio de Sousa et al., 2005; Bosch et al., 2012; Cuadrado-Ballesteros et al., 2013; Balaguer-Coll et al., 2013; Lo Storto, 2016.

(Zaragoza), es decir, el municipio podría teóricamente reducir el gasto en alumbrado público un 99,88% sin reducir el nivel de outputs ofrecido. El municipio presenta un nivel de gasto ligeramente inferior a la media (294 953,76€), su superficie es de 8,9Km^2 , con población inferior a 20.000 habitantes de alto poder adquisitivo, no turístico y que presenta un índice industrial por encima de la media, deberán tenerse en cuenta la escala de operaciones y los rasgos contextuales que definen su entorno por si fuesen determinantes es su calificación.

Si se considera una escala variable el número de municipios relativamente eficientes se eleva a diez, y aun así una muy baja proporción de municipios es eficiente. No obstante, al tomar en consideración la escala de operaciones y comparar a los municipios exclusivamente con los que presentan la misma escala, estos mejoran sus coeficientes de eficiencia. En este caso el valor mínimo tomado por el índice de eficiencia es de 0,002222 correspondiente al municipio Benicasim (Catellón). El municipio, de pequeña extensión (36,1 Km^2), y con unos outputs por debajo de la media respecto a potencia, pero por encima de la media en número de puntos de luz, presenta un gasto elevado de 1 378 601,4 en este servicio. Quizás el análisis de determinantes pueda explicar parte del enorme grado de ineficiencia de esta unidad, que presenta valores para los factores ambientales por encima de la media en los niveles de presión fiscal, de ingreso y valor catastral, lo que sugiere un alto nivel económico del municipio, es gobernado por un partido conservador, pero presenta una elevada fragmentación política. El índice de actividad turística es cuatro veces superior a la media. En principio los rasgos sugieren propensión a la ineficiencia en base a la literatura.

La solución de la formulación DEA-NIRS muestra dos unidades relativamente eficientes. El municipio señalado anteriormente, Cuarte de Huerva, es también catalogado como el menos eficiente en este supuesto. Aquellos municipios eficientes bajo los tres modelos DEA son los que exhiben rendimientos constantes a escala, no presentando ineficiencia de escala, es decir, obtienen un coeficiente de eficiencia de escala igual a la unidad.

La Tabla 11 resume la información respecto al cálculo de índices de eficiencia para el servicio de alumbrado público, mostrando los valores medios de eficiencia técnica (DEA-CRS), de eficiencia técnica pura (DEA-VRS) y de escala (cociente entre el coeficiente bajo CRS y el calculado bajo VRS), así como el número de

unidades consideradas eficientes e ineficientes en cada caso y el porcentaje que representan respecto al total de la muestra.

Tabla 11. Índices de eficiencia para el servicio de AP

	Índice	Porcentaje
Eficiencia técnica (Modelo DEA-VRS orientación input)		
Eficiencia media	0,0536	5,36
Unidades eficientes	10	1,5
Ineficiencia media	0,9464	94,64
Unidades ineficientes	624	98,42
Eficiencia técnica (Modelo DEA-CRS orientación input)		
Eficiencia media	0,0256	2,56
Unidades eficientes	2	0,32
Ineficiencia media	0,9744	97,44
Unidades ineficientes	632	99,68
Eficiencia de escala= Eficiencia DEA-CRS/Eficiencia DEA-VRS orientación input		
Eficiencia media	0,4776	47,76
Unidades eficientes	2	0,32
Ineficiencia media	0,5223	52,23
Unidades ineficientes	632	99,68

Fuente: Elaboración propia

Profundizando en los resultados se observa una eficiencia promedio muy reducida tanto en DEA-VRS como DEA-CRS (Tabla 11). De media los municipios presentan una eficiencia técnica del 2,56%, lo que significa que el 99,68% de los municipios evaluados podrían reducir, teóricamente, su nivel de gastos en alumbrado público un promedio del 97,44% sin reducir los niveles de outputs. Solamente 4 municipios obtienen una puntuación en eficiencia por encima del 50%, mientras que 527 presentan índices por debajo del 3%.

Si aislamos el efecto de la ineficiencia de escala, se obtiene una eficiencia técnica pura media del 5,36%, ligeramente superior pero igualmente un nivel muy bajo. Diez municipios presentan eficiencia técnica pura relativa, el 1,5% de la muestra. En principio, y sin tener en cuenta el posible efecto de otros factores fuera del control de la unidad, el 98,42% de la muestra es ineficiente desde el punto de vista de la gestión de los recursos. Ahora son 19 los municipios en el que su medida de eficiencia relativa se sitúa por encima del 50%, de los cuales 12 están por encima del 80% de eficiencia.

Solo dos municipios presentan eficiencia de escala, siendo el nivel de eficiencia media de escala del 47,76 %, muy superior a la eficiencia técnica. De los 634 municipios que no presentan rendimientos constantes, 595 muestran rendimientos crecientes (aquellos cuyos índices de eficiencia NIRS y CRS coinciden), es decir, podrían beneficiarse de las ventajas asociadas a las economías de escala. Los 37 municipios cuyos coeficientes VRS y NIRS coinciden presentan rendimientos decrecientes a escala. En la Tabla 10 se aprecia que la mayoría de los municipios eficientes bajo VRS exhiben rendimientos decrecientes a escala (6 de 8), por lo que están operando con un volumen de recursos demasiado grande.

5.3.2.1. Test de escala

Se trata de aplicar un test estadístico para determinar si en el modelo orientado a la minimización del input empleado se debe usar una escala variable (modelo BCC o CRS) o constante (modelo CCR o CRS). Por lo general, se considera que la escala VRS es más conveniente porque permite que cada unidad se compare con otras que operan en una escala similar. No obstante, debe contrastarse empíricamente y existen tests de hipótesis basados en bootstrap que permiten resolver la cuestión.

Se pueden emplear tanto el test basado en los estadísticos 4.5 y 4.6 de Simar y Wilson (2002), como el estadístico 48 de Simar y Wilson (2011a). Se empleará el más actual, es decir, el estadístico 48 del trabajo de Simar y Wilson (2011a), que, además, es equivalente al estadístico 4.6 del trabajo del año 2002.

Como se estableció en la metodología se resuelven dos contrastes. En el primero de ellos (Tabla 12), para un número de replicaciones igual al recomendado por los autores B=100 y un nivel de confianza del 95%, se acepta la hipótesis nula, es decir, escala constante.

Tabla 12. Contraste-1 de hipótesis sobre el tipo de rendimientos para AP

Contraste 1	
H_0:	CRS (Rendimientos a Escala Constantes)
H_1:	VRS (Rendimientos a Escala Variables)
Valor del Estadístico 48 de Simar and Wilson (2011)	-0,4042597
p-value48	0,12
H_0 reject48	**Falso**
H_0 level48	-0,4526744
bw	cv
bw_value	8,806245

Fuente: Elaboración propia

En principio la escala no sería variable. Si bien se rechaza la escala VRS al 5% el pvalue48 toma un valor de 0,12, es decir, se aceptaría a partir del 12% por lo que se podría admitir prácticamente la escala. Se realiza el segundo contraste (Tabla 13) que permitirá recibir más información acerca de la escala apropiada a aplicar en el análisis. En este caso se rechaza la hipótesis nula y, por tanto, se confirma que la escala variable puede adoptarse sin complicaciones.

Tabla 13. Contraste-2 de hipótesis sobre el tipo de rendimientos para AP

Contraste 2	
H_0:	NIRS (Rendimientos a Escala Decrecientes)
H_1:	VRS (Rendimientos a Escala Variables)
Valor del Estadístico 48 de Simar and Wilson (2011)	-0,3132282
p-value48	0,01
H_0 reject48	**Cierto**
H_0 level48	-0,1560734
bw	cv
bw_value	6,362517

Fuente: Elaboración propia

Se selecciona la escala variable para el cálculo de los índices de eficiencia. El modelo que aplicar será DEA-VRS con una orientación hacia los inputs.

5.3.2.2. Corrección del sesgo

Se ha señalado en varias ocasiones a lo largo del texto que las estimaciones DEA, medidas radiales, son sesgadas. Hay que tener en cuenta que la situación puede ser diferente si se considera el proceso subyacente real, donde es bastante improbable que existan unidades con coeficiente igual a uno. A este respecto Simar

y Wilson (2011b: 210) señalan que "es claro que la masa de estimaciones igual a uno es debida al sesgo del estimador de la frontera DEA. En otras palabras, las estimaciones igual a uno son ficticias. Si uno fuese capaz de observar una muestra de eficiencias reales, no vería un grupo de valores igual a uno". En consecuencia, y en orden a considerar la naturaleza estocástica del problema de estimación, se aplica el procedimiento bootstrap de Simar y Wilson (2000b).

El método propuesto se emplea para estimar intervalos de confianza para funciones distancia Shephard (1970), de modo que un mayor coeficiente implica mayor ineficiencia; si la medida toma el valor uno el municipio será clasificado como técnicamente eficiente.

El número de replicaciones llevadas a cabo ha sido el recomendado B=2.000. Siguiendo los pasos establecidos en Simar y Wilson (2000b), se obtienen los índices de eficiencia DEA-VRS con corrección de sesgo, $\hat{\hat{\delta}}$. Estos coeficientes son estimaciones robustas y corregidas de δ y permiten elaborar un ranking de eficiencia. La Tabla 14 muestra la información correspondiente al bootstrap de la primera etapa para una selección de catorce municipios, ordenados de más a menos eficiencia relativa.

Tabla 14. Índices insesgados para el modelo DEA-VRS input para AP

MUNICIPIO	$\hat{\delta}$	$\hat{\hat{\delta}}$	$se\hat{s}go_B\left(\hat{\delta}\right)$	$\hat{\sigma}^2$	r_i	LI	LS
Sorbas	1	1,2547	-0,2547	0,0124	1,7493	1,0818	1,5059
Cuervo de Sevilla (El)	1,1929	1,4498	-0,2570	0,0195	1,1276	1,2377	1,7689
Coronil (El)	1	1,6248	-0,6248	0,0243	5,3568	1,2430	1,8459
Tazacorte	1	1,6270	-0,6269	0,0242	5,4056	1,2733	1,8630
Algorfa	1	1,8607	-0,8607	0,0151	16,3862	1,5333	1,9718
Villanueva de la Reina	1,0419	1,8835	-0,8416	0,0313	7,5413	1,3435	2,0480
Mota del Cuervo	1	1,9421	-0,9421	0,0075	39,5398	1,7301	1,9924
Arcos de Jalón	1	1,94701	-0,9470	0,0096	31,2124	1,6635	1,9943
Santa Bárbara	1	1,9583	-0,9583	0,0086	36,0122	1,7018	1,9963
Noreña	1	1,9586	-0,9586	0,0090	33,91265	1,7330	1,9964
Alburquerque	1	1,9599	-0,9599	0,0071	42,9741	1,7382	1,9965
Almazora	1	1,95999	-0,95999	0,0068	45,387421	1,7288	1,9965
Tiana	1,7724	2,1925	-0,4201	0,0460	1,27863	1,8565	2,6669
Marchena	1,6855	2,3198	-0,6343	0,0695	1,9287	1,8419	2,8038

Nota: $\hat{\delta}$, coeficientes de eficiencia sesgados DEA-VRS; $\hat{\hat{\delta}}$, coeficientes de eficiencia insesgados; σ^2, desviación típica; r_i, estadístico; LI, límite inferior del intervalo de confianza al 95% para los coeficientes de eficiencia insesgados; LS, límite superior del intervalo de confianza al 95% para los coeficientes de eficiencia insesgados.

Fuente: Elaboración propia

La columna $\hat{\delta}$ muestra las estimaciones de las funciones distancia originales y la columna $\hat{sesgo}_B\left(\hat{\delta}\right)$, el sesgo obtenido mediante el bootstrap. Obviamente, para todos los municipios el sesgo es negativo dado que se emplean funciones distancia. La cuarta columna r_j contiene el valor del test estadístico, donde:

$$r_j = \frac{\frac{1}{3}\left[\hat{sesgo}_B\left(\hat{\delta}\right)\right]^2}{\hat{\sigma}^2} \qquad (5.2)$$

Se utilizará el valor de este estadístico para evaluar si la corrección del sesgo incrementa el error cuadrático medio, en cuyo caso no se llevará a cabo la corrección del coeficiente para ese municipio en concreto, sino que se empleará la estimación inicial del mismo. Observando los valores se determinará si el índice de eficiencia, de cada municipio, a usar en la segunda fase de regresión es el corregido ($\hat{\hat{\delta}}$) o el estimado inicialmente ($\hat{\delta}_j$). A este respecto, se recuerda que si r_i es mayor que uno es mejor tomar en consideración el coeficiente insesgado; a la inversa, si el valor es menor a la unidad. La columna $\hat{\hat{\delta}}$ da la estimación de la función distancia una vez corregido el sesgo. Los municipios son clasificados desde el menor valor de $\hat{\hat{\delta}}$ al mayor, es decir, de más a menos eficiencia relativa de acuerdo con el tipo de función distancia empleado. Finalmente, las tres últimas columnas muestran los datos para la inferencia estadística, es decir, la varianza estimada y el límite inferior (LI) y superior (LS) de los intervalos de confianza al 95%.

Los resultados de la Tabla 14 revelan la sensibilidad de las medidas de eficiencia con respecto a la variación muestral. Así, en la segunda columna se observan las diferencias de esas medidas corregidas respecto a la estimación original. En todos los casos la eficiencia cae sustancialmente y el valor de ri excede la unidad por mucho en algunos casos. Esto indica que, a la hora de realizar comparaciones entre municipios en base al nivel de eficiencia alcanzado, se debe ser cauteloso si se toman como referencia los índices DEA originales (Simar y Wilson, 1998: 57). Los límites del intervalo de confianza definen la localización estadística de la medida de eficiencia real.

Así, considerando el coeficiente insesgado, el municipio con la "mejor práctica" sería el mun537, Sorbas (Almería). En este caso, la unidad era eficiente considerando la estimación basada en la función distancia inicial, presentando ahora un coeficiente corregido de 1,25, es decir, el municipio podría, teóricamente, disminuir el consumo de sus inputs un 25% y seguir produciendo el mismo nivel de output. Para este municipio el estadístico rj toma un valor de 1,75, mayor que uno, por lo que el coeficiente corregido es una mejor estimación de su medida de eficiencia real. Específicamente, el intervalo de confianza al 95% para esta unidad indica que podría reducir sus inputs entre el 8% y el 50%. La segunda fase del análisis ayudará a determinar si esa ineficiencia se puede explicar por las características del entorno de los municipios y no sólo por la gestión técnicamente

ineficaz de los responsables. Todos los municipios de la muestra disminuyen su eficiencia relativa.

De forma adicional los índices insesgados de eficiencia ofrecen un ranking de unidades, observándose, que las unidades marcadas como eficientes de forma relativa por el modelo DEA-VRS siguen situándose entre las unidades con mayor eficiencia. A su vez, las diez unidades marcadas como menos eficientes siguen siendo las mismas.

5.3.2.3. Medidas SBM de Tone

Se ha llevado a cabo el cálculo de los índices no radiales SBM de Tone con la idea de investigar la robustez de los resultados obtenidos a través de las medidas radiales. Medir el grado de eficiencia de los municipios, a través de distintos métodos y examinar los resultados, permite valorar con mayor fiabilidad la eficiencia relativa de los municipios.

Las medidas no radiales de eficiencia desarrolladas por Tone (2001) permitirán analizar la eficiencia alcanzada por los municipios cumpliendo con la definición dada por Koopmans (1951). Serán eficientes aquellos municipios con coeficiente estimado igual a 1 y holguras igual a cero para todos sus inputs y outputs Comparando los resultados con los estimados sesgados e insesgados calculados previamente se analizará la robustez de los resultados.

Tabla 15. Índices de eficiencia SBM-VRS para AP

PROVINCIA	MUNICIPIO	θ_{SBM}	slack.x_1	slack.y_1	slack.y_2
Badajoz	Alburquerque	1	0	0	0
Alicante	Algorfa	1	0	0	0
Castellón	Almazora	1	0	0	0
Soria	Arcos de Jalón	1	0	0	0
Sevilla	Coronil (El)	1	0	0	0
Cuenca	Mota del Cuervo	1	0	0	0
Asturias	Noreña	1	0	0	0
Tarragona	Santa Bàrbara	1	0	0	0
Almería	Sorbas	1	0	0	0
Sta Cruz de Tenerife	Tazacorte	1	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los municipios que el modelo SBM-VRS de Tone categoriza como eficientes coinciden con los diez municipios identificados como mejores prácticas por el modelo DEA-VRS, y también con los índices insesgados más bajos obtenidos mediante Simar y Wilson (2000b), este hecho refuerza la validez de los resultados obtenidos (ver Tabla 15). En este modelo, la eficiencia media alcanzada 3,53% es, como se esperaba, inferior a la eficiencia promedio del modelo DEA-VRS (5,35%).

Los 624 municipios restantes presentan holguras. Respecto a las holguras en inputs sólo dos municipios no presentan exceso de gasto en la prestación del servicio. Respecto a las holguras mostradas en los diferentes outputs, el output y_4 (número de puntos de luz) es en el que menos unidades presentan holguras, 551 municipios. En el output y_2 (potencia instalada), el número de unidades que no presentan holguras es de 52.

Asimismo, la estimación de los coeficientes de eficiencia mediante este modelo no radial permite dibujar una senda de actuación a las unidades ineficientes para situarse sobre la frontera, señalando en qué proporción pueden disminuir input si presentan holguras en el input o en qué proporción pueden incrementar los outputs en los que existan holguras. La Tabla 16 ofrece una selección al azar de cinco municipios ineficientes que presentan holguras. Se observa como las holguras permiten orientar a los municipios sobre las actuaciones que les conducirán a un uso de recursos más eficiente.

Tabla 16. Selección de municipios ineficientes bajo SBM-VRS para AP

PROVINCIA	MUNICIPIO	θ_{SBM}	slack.x_1	slack.y_1	slack.y_2
Barcelona	Sant Feliu de Llobregat	0,7409649	19424,2781	0	0
Islas baleares	Esporles	0,5662763	7960,7179	0	71,54167
Sevilla	Benacazón	0,5165365	4151,8246	0	0,2083333
Sevilla	Pedroso (El)	0,503331	11854,9596	0	20,70833
Barcelona	Tiana	0,2669073	2156,88	305	251

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 16 la tercera columna, θ_{SBM}, es el coeficiente de eficiencia estimado bajo el modelo SBM-VRS de Tone, el resto de columnas ofrece el valor de las holguras en inputs o exceso de recursos empleados *slack.*x_1 y la escasez en cada uno de los outputs, *slack.*y_1, y_2. Si se analiza como ejemplo el municipio de Tiana (Barcelona) el modelo señala un exceso de coste de 2 156,88€ y evidencia escasez en

el número de puntos de luz en el municipio y de kilovatios contratados en base al coste del servicio. De igual forma pueden ser interpretadas las holguras del resto de los municipios calificados como ineficientes.

Además, con el cálculo de estas medidas de eficiencia se ha podido comprobar que la medida de eficiencia de los municipios se deteriora, de media, 1,84 puntos porcentuales situándose en un 3,52%. En cuanto al ranking de unidades no se ve alterado de forma significativa ni los primeros ni los últimos puestos de este; sin embargo, si hay variaciones importantes en las posiciones intermedias. 372 municipios mejoran su posición respecto al ranking establecido por el modelo VRS original, mientras que 252 empeoran. La variación más pronunciada es la del municipio barcelonés mun 132 que cae en el ranking 450 puestos; en sentido contrario el municipio mun559, Tomelloso (Ciudad Real) escala 137 puestos en el ranking.

Si se analizan de forma comparativa los valores medios de eficiencia obtenido en los modelos DEA calculados, se observa que la eficiencia alcanzada es muy baja en los 4 modelos (CRS, VRS; VRS-insesgado; SBM-Min), no superando en ninguno de los cados el 6% de media, siendo el modelo DEA-VRS el que presenta mejores índices de eficiencia media con un 5,35%

5.3.3. Análisis de determinantes

Se muestran a continuación los hallazgos de la cuestión principal de esta investigación: el análisis de los determinantes de la eficiencia para el servicio de alumbrado público. El objetivo es averiguar en qué grado los coeficientes de eficiencia de cada municipio se ven afectados o no por el conjunto de variables exógenas ambientales seleccionadas en esta aplicación empírica. Como se ha comentado, se utiliza el procedimiento de doble Bootstrap Simar y Wilson (2007).

5.3.3.1. Aplicación del Algoritmo-II de Simar y Wilson para alumbrado público

El modelo de regresión a estimar es:

$$\hat{\hat{\delta}}_j = \beta_0 + \beta_1 TBURDEN + \beta_2 INCOME + \beta_3 PDENSURB + \beta_4 HOUSEV + \beta_5 POLITICS + \beta_6 HERFINDAHL + \beta_7 ININD + \beta_8 ICOMM + \beta_9 ITURIST + \beta_{10} IACTEC + \varepsilon_j \quad (5.3)$$

Se muestran a continuación los resultados de los siete pasos establecidos en el Algoritmo-II de Simar y Wilson (2007, p. 42-43).

[1]. Utilizando los datos originales de la muestra, los 634 municipios, se calculan los índices de eficiencia DEA-VRS input, $\hat{\delta}_j$, para cada municipio. Estos coeficientes coinciden con los sesgados calculados en la fase anterior del análisis y se obtienen resolviendo la formulación DEA-VRS establecida en la ecuación (2.11).

El error estándar en la regresión truncada asciende a 91,06796.

[2]. Se resuelve por máxima verosimilitud la ecuación ($\hat{\delta}_j = z_j\beta + \varepsilon_j$), obteniendo un primer conjunto de estimaciones ($\hat{\beta}$) para los coeficientes β de cada una de las variables ambientales. Así como, una estimación de la desviación típica del término de error $\hat{\sigma}_\varepsilon$ de σ_ε en la regresión truncada de $\hat{\delta}_j$ sobre z. Los resultados se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17. Coeficientes estimados de las variables ambientales en AP. Paso 2-Algoritmo-II SW

	$\hat{\beta}_0$	-94,0852968
TBURDEN	$\hat{\beta}_1$	0,05658276
INCOME	$\hat{\beta}_2$	-0,58451102
PDENSURB	$\hat{\beta}_3$	0,00139535
HOUSEV S	$\hat{\beta}_4$	0,297151
POLITICS	$\hat{\beta}_5$	29,6350062
HERFINDAHL	$\hat{\beta}_6$	-75,9703797
ININD	$\hat{\beta}_7$	-0,9516789
ICOMM	$\hat{\beta}_8$	1,59405431
ITURIST	$\hat{\beta}_9$	0,48486382
IACTEC	$\hat{\beta}_{10}$	2,40358356

Fuente: Elaboración propia

[3 y 4]. Aplicando el primer bootstrap paramétrico en la formulación inicial DEA-VRS con. $L_1 = 100$ se obtendrán las estimaciones insesgadas $\hat{\hat{\delta}}$. Este procedimiento bootstrap simplifica el suavizado empleado en Simar y Wilson (2000b). El resultado de esta primera etapa del análisis se muestra en la Tabla 18. Estos índices serán los utilizados en la etapa de regresión para el análisis de determinantes.

Tabla 18. Resultado primera etapa del análisis SW para alumbrado público

PROVINCIA	MUNICIPIO	$\hat{\delta}$	$\hat{sesgo}_B(\hat{\delta})$	$\hat{\hat{\delta}}$	LI-IC	LS-IC.
Badajoz	Alburquerque	1	-0,9441	1,9441	1,8949	2,1728
Alicante	Algorfa	1	-0,8346	1,8346	1,7001	2,2159
Castellón	Almazora	1	-0,9796	1,9796	1,9629	2,0871
Soria	Arcos de Jalón	1	-0,9442	1,9442	1,8967	2,1057
Sevilla	Coronil (El)	1	-0,6023	1,6023	1,3532	1,9445
Cuenca	Mota del Cuervo	1	-0,9491	1,9491	1,9067	2,1415
Asturias	Noreña	1	-0,9735	1,9735	1,9527	2,0532
Almería	Sorbas	1	-0,2549	1,2549	1,0183	1,408
Sta C.Tenerife	Tazacorte	1	-0,6008	1,6008	1,3426	1,9112
Tarragona	Santa Bárbara	1	-0,9518	1,9518	1,9095	2,2405
Jaén	Villanueva de la Reina	1,042	-0,8032	1,8452	1,6605	2,3701
Sevilla	Cuervo de Sevilla (El)	1,193	-0,2536	1,4465	1,1374	1,6507
Barcelona	Sant Feliu de Llobregat	1,349	-1,2612	2,6108	2,5420	3,0142
Islas Baleares	Esporles	1,614	-1,448	3,0622	2,9316	3,8736
Sevilla	Marchena	1,685	-0,6747	2,3602	1,8173	2,8935
Barcelona	Tiana	1,772	-0,4425	2,2149	1,8283	2,5124

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 18 recoge para una selección de municipios la estimación original del coeficiente de eficiencia y el sesgo a partir de lo cual calcula las medidas de eficiencia insesgadas como:

$$\hat{\hat{\delta}}_j = \hat{\delta}_j - \hat{sesgo}(\hat{\delta}_j)$$

Muestra también los extremos inferior y superior de los intervalos de confianza al 95% para las medidas de eficiencia insesgadas. Se observa que la masa de coeficientes iguales a uno desaparece.

[5]. Se calcula ahora, el modelo propuesto tomando como variable dependiente los coeficientes insesgados y como variables explicativas los diez factores exógenos ambientales que caracterizaban el entorno operativo de los municipios. Se obtienen los parámetros definitivos de cada variable ambiental $\hat{\hat{\beta}}$ y la desviación típica del error en la regresión truncada llevada a cabo. El valor del error estándar asciende a 132,7908. Los valores de los parámetros estimados de cada factor se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Coeficientes estimados definitivos de las variables ambientales $\hat{\hat{\beta}}$

	$\hat{\hat{\beta}}_0$	-160,7241
TBURDEN	$\hat{\hat{\beta}}_1$	0,09806245
INCOME	$\hat{\hat{\beta}}_2$	-3,62967
PDENSURB	$\hat{\hat{\beta}}_3$	7,95E-04
HOUSEV	$\hat{\hat{\beta}}_4$	0,4413747
POLITICS	$\hat{\hat{\beta}}_5$	4,60E+01
HERFINDAHL	$\hat{\hat{\beta}}_6$	-80,44998
ININD	$\hat{\hat{\beta}}_7$	-1,81694
ICOMM	$\hat{\hat{\beta}}_8$	2,454527
ITURIST	$\hat{\hat{\beta}}_9$	0,6884663
IACTEC	$\hat{\hat{\beta}}_{10}$	4,37244

Fuente: Elaboración propia

[6]. El segundo procedimiento bootstrap, con número de replicaciones $L_2 = 2000$, permite obtener la matriz de estimaciones $\mathcal{B}=\left\{\left(\hat{\beta}^*, \hat{\hat{\sigma}}_\varepsilon^*\right)_b\right\}_{b=1}^{2.000}$ .Las estimaciones bootstrap de los parámetros se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Coeficientes estimados de las variables ambientales en el segundo bootstrap $\hat{\hat{\beta}}^*$

	$\hat{\hat{\beta}}_0^*$	-107,5148
TBURDEN	$\hat{\hat{\beta}}_1^*$	0,08378113
INCOME	$\hat{\hat{\beta}}_2^*$	-4,751787
PDENSURB	$\hat{\hat{\beta}}_3^*$	-0,000164281
HOUSEV	$\hat{\hat{\beta}}_4^*$	0,3562405
POLITICS	$\hat{\hat{\beta}}_5^*$	38,19772
HERFINDAHL	$\hat{\hat{\beta}}_6^*$	-69,21981
ININD	$\hat{\hat{\beta}}_7^*$	-1,816767
ICOMM	$\hat{\hat{\beta}}_8^*$	2,252736
ITURIST	$\hat{\hat{\beta}}_9^*$	0,5826954
IACTEC	$\hat{\hat{\beta}}_{10}^*$	4,368079

Fuente: Elaboración propia

[7]. En este último paso del Algoritmo-II, a partir de los valores Bootstrap obtenidos y las estimaciones insesgadas originales se construyen los intervalos de confianza para cada uno de los coeficientes de las variables ambientales, conforme al procedimiento descrito por SW en la página 43 de su artículo.

Tabla 21. Resultados de la segunda etapa para AP. Algoritmo-II

Análisis de Determinantes (Simar y Wilson 2007, 2011b)[74]				
Variables	Coeficientes estimados	Intervalos de Confianza al 95%		Influencia
TBURDEN	0,0981 (s)	0,03873	0,15284	Desfavorable
INCOME	-3,6297 (s)	-11,7756	3,6505	Favorable
PDENSURB	0,0008 (s)	-0,0032	0,0042	Desfavorable
HOUSEV	0,4414 (s)	-0,1108	0,9742	Desfavorable
POLITICS	45,961 (s)	12,2864	82,8453	-
HERFINDAHL	-80,45 (s)	-164,2963	4,1836	Favorable
ININD	-1,817 (s)	-2,72E+00	-9,56E-01	Favorable
ICOMM	2,45457 (s)	1,2365	3,7323	Desfavorable
ITURIST	0,6885 (s)	0,1658	1,2058	Desfavorable
IACTEC	4,37244 (s)	2,1269	6,6541	Desfavorable

(s) Indica que el parámetro estimado es significativo al 5%

(ns) Indica que el parámetro estimado no es significativo

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 21 muestra los resultados de evaluar el efecto de los factores ambientales sobre la eficiencia del servicio analizado. Se deduce de la misma que todas las variables consideradas son estadísticamente significativas en términos de eficiencia del servicio. INCOME, HERFINDAHL e ININD tienen un impacto favorable sobre los niveles de eficiencia relativa, mientras que TBURDEN, PDENSURB, HOUSEV, ICOMM, ITURIST y IACTEC impactan desfavorablemente sobre la eficiencia. Respecto a la variable POLITICS, según los resultados mostrados y la asignación de valores hecha, los gobiernos locales de perfil conservador favorecen la medida de eficiencia para el servicio de alumbrado público.

[74] A la hora de comentar el signo de los coeficientes estimados de las variables ambientales, al ser éstos tipo Shephard, el signo negativo se interpretaría como beneficioso en términos de eficiencia (aumenta la eficiencia), mientras que un signo positivo sería perjudicial para la eficiencia (decrece la eficiencia).

En base a los resultados que desprende el análisis de regresión los administradores locales con una elevada capacidad para obtener recursos están menos motivados a ejercer una gestión adecuada, lo que deriva en una mayor ineficiencia ante mayores tasas impositivas. Este hallazgo no es consistente con los encontrados en De Borge y Kertens (1996a), Monkan (2014), Basílio et al. (2020) o Benito et al. (2020), donde la alta capacidad fiscal de los municipios conciencia al ejecutivo hacia una gestión eficiente motivados por el control al que se ven sometidos por parte de los ciudadanos; no obstante, como se especificó en la justificación teórica de la variable, la mayoría de los autores que la incorporan a su estudio han encontrado esta asociación entre esfuerzo fiscal y eficiencia. Similares deducciones parecen derivarse de la relación obtenida con la variable HOUSEV. Parece posible esperar que un elevado valor catastral de los inmuebles municipales derive en una mayor recaudación fiscal ocasionando la relajación del gobierno local en su actividad gestora y de las restricciones presupuestarias incrementando la ineficiencia en costes (Balaguer-Coll et al., 2007; Stata y Gregor, 2015).

La variable INCOME también representa una aproximación a la capacidad financiera del municipio, pero su comportamiento es discordante al de las variables previamente comentadas. Mayores niveles de riqueza de los habitantes de un municipio derivan, en este caso, en mayores niveles de eficiencia. Un mayor nivel económico inducirá a los ciudadanos a exigir más calidad en los servicios prestados, contribuyendo a incentivar, tanto en políticos como en contribuyentes, la auditoría y el control efectivo de los gastos (cf. DeBorger y Kerstens, 1996a). En la literatura, algunos investigadores encuentran la misma relación (Afonso y Fernandes, 2008; Benito et al., 2012; Balaguer-Coll et al., (2013); Agasisti et al., 2016; Cordero et al., 2017a; Narbón-Perpiñá et al., 2020). También en otras publicaciones se ha planteado esta aparente contradicción entre las variables renta y nivel de ingresos fiscales, De Borge y Kerstens (1996a, b) aunque con signo diferente al que aquí se refleja y Narbón-Perpiñá et al. (2020).

Profundizando en el comportamiento de HOUSEV que mide el valor catastral de los inmuebles, se observa que su efecto sobre la eficiencia no se alinea con lo señalado en la variable INCOME. Si bien los altos valores catastrales de un municipio pueden asociarse con mayor riqueza de sus habitantes y en consecuencia con la exigencia de un alumbrado de calidad; también, podría deberse a una mayor concentración de la población (exceso de demanda sobre la oferta de viviendas) y

que los problemas derivados de la congestión sobrepasasen las ventajas de la misma. No obstante, Da Cruz y Marqués (2014) detectan que un alto poder adquisitivo (como se desprende de un elevado valor catastral) deteriora el nivel de eficiencia estimado, los propietarios más ricos no necesariamente están pendientes de exigir mayor valor a los impuestos que pagan (cf. Ashworth et al., 2014) o aunque lo hicieran, la alta capacidad fiscal podría permitir al gestor ofrecer servicios de calidad incluso aunque no se comporten eficientemente (Borge et al., 2008).

Se podría concluir que respecto al efecto que el entorno económico del municipio, considerado de forma conjunta, tendrá sobre la eficiencia estimada parece sugerirse que la disponibilidad de mayores ingresos, y por tanto, menos restricciones presupuestarias alentará una gestión ineficiente; si bien una población más rica será más exigente y vigilante con la administración local, ésta puede intentar cubrir esas expectativas de mayor calidad pero sin ser eficiente en el uso de la gran cantidad de recursos de la que dispone. El impacto final dependerá de la envergadura y predominancia de cada uno de ellos, el vencedor de tal rivalidad marcará un mejor o peor índice de eficiencia para el municipio.

El efecto de PDENSURB sobre el nivel de eficiencia no es el esperado y una mayor concentración de la población incrementa la ineficiencia en la prestación del servicio. El hallazgo refuerza lo visto en la variable HOUSEV, sugiriendo que la concentración de la población produce un aumento en el precio de las propiedades del municipio y como consecuencia desventajas en costes al hacer el proceso productivo más costoso (Kalb et al., 2012). Asimismo, el incremento en costes debidos a la aglomeración y a la mayor complejidad ha superado las posibles ventajas asociadas a economías de escala en la provisión del servicio que derivan de la concentración de población. Otros autores han detectado, en sus análisis, el mimo efecto (Athanassopoulos y Triantis, 1998; Geys y Moosen, 2009a; Kalb (2010); Geys et al., 2013; Da Cruz y Marques, 2014; Lampe et al., 2015; Benito et al., 2020; Narbón-Perpiñá et al., 2020).

Respecto a las variables políticas, se observa que para el servicio de alumbrado público el hecho de que el gobierno local sea de ideología conservadora favorece la eficiencia. Por el contrario, en el estudio sobre este servicio de Benito et al. (2020) esta ideología política afecta negativamente, si bien la literatura de carácter general presenta gran confusión al respecto. Ahora bien, las variables que

representan el factor ideológico suelen ser estadísticamente relevantes, lo que vuelve a confirmar la tesis de que la ideología del gestor influye significativamente en el desempeño y rendimiento del sector público (Cusack, 1997). Algunos estudios que apoyan estos resultados en otros ámbitos son: en Noruega, Kalseth y Rattsø (1998) hallan que mayor proporción de socialistas en los gobiernos locales se asocia a mayores gastos administrativos; en De Borger et al., (2004), De Borger y Kerstens (1996a, b), Geys et al. (2010), Loikkanen et al., 2011, Šťastná y Gregor (2011), Kalb et al. (2012), Ashworth et al. (2014) y Agasisti et al. (2016) especifican que una mayor presencia de partidos de izquierdas baja la eficiencia relativa estimada de los municipios; en la provisión pública de infraestructuras culturales, Benito et al. (2014) señalan a los municipios con gobiernos locales conservadores más eficientes; y en Šťastná y Gregor (2015) asocian la ideología de izquierdas a mayor ineficiencia durante la transición en municipios de la República Checa, y a los partidos de derechas con incrementos de eficiencia tras la transición.

El signo de HERFINDAHL significa que una mayor fragmentación política deriva en mayor ineficiencia. Se observa el efecto desfavorable que produce la pérdida de poder de los gobiernos locales para establecer presupuestos más ajustados cuando gobiernan en coalición. En consecuencia, mayor concentración de poder evita las contraprestaciones derivadas de los apoyos políticos que suelen incrementar los gastos menoscabando los niveles de eficiencia. Evidencia a este respecto se encuentra en Benito et al. (2020) y en los trabajos de enfoque general de Vaden Eeaut et al. (1993), Borge et al. (2008), Šťastná y Gregor (2011), Pacheco et al. (2014), Ashworth et al. (2014), y Yusfany (2015). En Kalseth y Rattsø (1998) aunque la variable no es significativa sí prueban que cuando las decisiones son tomadas por un único partido los gastos administrativos disminuyen.

Concluyendo respecto al análisis de determinantes políticos, parece desprenderse de nuestra investigación que un gobierno local fuerte y de ideología política conservadora favorece la gestión eficiente de la prestación del servicio de alumbrado público en España para los municipios entre 1.000 y 50.000 habitantes. A similar conclusión llegan Kalseth y Rattsø (1998) en su estudio para municipios noruegos, al señalar que un líder político débil combinado con mayorías socialistas es previsible que aumente hasta en un 20% los gastos, comparado con un gobierno de un solo partido en el poder de ideología conservadora.

En relación con los índices que caracterizan el entramado empresarial del municipio bajo estudio, se advierte un efecto desfavorable de los índices comercial, turístico y de actividad económica. En cuanto al impacto del índice industrial sobre la eficiencia muestra un efecto favorable que se ajusta a las expectativas teóricas planteadas.

Indagando la posible justificación de que los municipios con una estructura económica predominantemente comercial presenten más derroche de recursos en la obtención del output en el presente servicio, se podría sugerir el aumento en la recaudación que, a través de impuestos a estas actividades, ocasionaría un efecto semejante al descubierto en TBURDEN; es decir, la falta de interés por la contención presupuestaria derivada de la abundancia económica. De la revisión de la literatura solamente Sung (2007) encuentra una asociación negativa con un alto número de establecimientos en general, y en particular con los de servicios (incluidos hoteles y restaurantes), ocasionada por el mayor esfuerzo y tiempo que supone este hecho a los empleados locales. Lo que enlazaría con el efecto adverso que muestran también los municipios con marcado carácter turístico.

La evidencia respecto a ITURIST ha reflejado que los municipios turísticos incrementan la ineficiencia en costes. El resultado corrobora lo esperado, la mayor inversión, las dificultades en la estimación de la demanda que tiende a subestimarse, el incremento de la demanda de bienes y servicios de calidad y la problemática asociada a la estacionalidad de la población supone un incremento sistemático de los gastos, elevándose el coste de la prestación del servicio (Sampaio de Sousa y Stošić, 2005; Bosch et al., 2012; Kalb et al., 2012; Da Cruz y Marques, 2014). Comparando con el referente literario directo de este servicio de alumbrado público, nos percatamos de que Benito et al. (2020) identifican el efecto opuesto. Así las cosas, la ambigüedad que caracteriza a esta variable vuelve a manifestarse. Nuestros hallazgos corroboran la evidencia empírica encontrada por Sampaio de Sousa et al. (2005), Kalb (2010), Bosch et al. (2012), Kalb et al. (2012), Cuadrado-Ballesteros et al. (2013), Da Cruz y Marques (2014), y D´Inverno et al. (2018).

Tomando en consideración la actividad económica del municipio en su conjunto a través de la variable IATEC, queda patente que la presión ejercida por los comerciantes sobre el gestor no evidencia en este caso una mejora de los niveles de eficiencia (como propone Balaguer-Coll y Prior, 2009), el efecto que prevalece es el de que un alto nivel económico del municipio, habitantes más enriquecidos y

holgadas arcas públicas reduce la vigilancia y el control de todos los implicados en el proceso productivo del servicio. Esta asociación la encuentran los autores con las distintas variables que han empleado como proxy de la situación económica del municipio (Sampaio de Sousa et al., 2005; Bosch et al., 2012; Cuadrado-Ballesteros et al., 2013; Balaguer-Coll et al., 2013; Lo Storto, 2016).

Al igual que para el índice industrial, en este condicionante de la eficiencia, se encuentra una investigación (Balaguer-Coll et al., 2020) que estudia la relación inversa entre crecimiento económico y eficiencia, desenmascarándose la eficiencia como un determinante del mismo. De esta manera, en base a nuestros hallazgos, puede aventurarse que un municipio que destaque por el buen aprovechamiento de sus recursos atraerá mayor nivel de actividad económica generando un mayor crecimiento; lo contrario no sería cierto, un mayor crecimiento económico del municipio y, por ende, mayor actividad económica en el mismo no se traduciría en una gestión eficiente.

Sintetizando lo visto en el análisis por determinantes, un municipio presenta mejor puntuación en la evaluación de su eficiencia si su población tiene altos niveles de renta, existe concentración política y de poder del gobierno local con ideología conservadora y su estructura económica es fundamentalmente industrial. En cambio, si el entorno en el que el municipio desarrolla su gestión se caracteriza por una elevada concentración poblacional, alto valor de las propiedades catastradas, amplia disponibilidad de recursos, un elevado nivel económico y gran actividad comercial y turística la eficiencia caerá probablemente.

5.3.3.2. Supuesto de separabilidad

Simar y Wilson (2015) establecen que para llevar a cabo un enfoque de segunda etapa en el análisis de los efectos de una serie de factores exógenos ambientales es necesario respetar los ocho supuestos que establecen en su trabajo de 2007. Los dos primeros supuestos hacen referencia a la condición de separabilidad, fundamental para una segunda etapa significativa; sin embargo, este supuesto es restrictivo y necesita ser contrastado (Simar y Wilson, 2015). Si esta asunción era satisfecha o no, suponía en última instancia una cuestión empírica que debería ser contrastada (Simar y Wilson, 2007). Desafortunadamente, no se dispone de un test formal generalmente aceptado para demostrar el cumplimiento de este supuesto, que implicaba que el conjunto de posibilidades de producción no estaba

afectado por Z, pero la distribución de la eficiencia técnica si depende de Z (Simar y Wilson, 2013).

La alternativa a los métodos bietápicos de Simar y Wilson (2007), en el caso de no cumplirse la restricción anterior, viene dada por los métodos no paramétricos para estimar fronteras condicionales (Daraio y Simar 2005, 2007). Como se vio en el capítulo tres, la propuesta de Daraio-Simar (DS) se traduce en que las variables ambientales se incluyen directamente, es decir, se permite que las variables ambientales influyan en la forma de frontera. Basándonos en esta idea, se ha seguido una interesante alternativa; así, se presentan tanto las estimaciones basadas en el modelo de dos etapas Simar y Wilson (2007) como las estimaciones basadas en las medidas de eficiencia condicional (Daraio et al., 2005): si entre los coeficientes estimados por cada uno de esos enfoques no se aprecian divergencias significativas existe una elevada probabilidad de que la condición de separabilidad se garantice, los resultados pueden ser considerados robustos y el método de doble bootstrap desarrollado en Simar y Wilson (2007) puede ser aplicado, si no, es probable que la condición de separabilidad no se mantenga invalidando los resultados. La siguiente tabla (Tabla 22) muestra los resultados y las estimaciones basadas en las medidas de eficiencia condicional.

Tabla 22. Coeficientes estimados condicionales y no condicionales para AP

Determinantes	Coeficientes estimados SW (2007)	Coeficientes estimados DS (2005)	Intervalos de Confianza al 95% SW (2007)	
TBURDEN	0,0981	0,0895	0,0387	0,1528
INCOME	-3,6297	-3,10815	-11,7757	3,6506
PDENSURB	0,00087	0,0006	-0,0032	0,0042
HOUSEV	0,4414	0,26596	-0,1108	0,9742
POLITICS	45,9608	25,5694	12,2864	82,8453
HERFINDAHL	-80,4499	-29,7541	-164,2963	4,1836
ININD	-1,8169	-0,83034	-2,7236	-0,9558
ICOMM	2,4545	1,85804	1,2365	3,7323
ITURIST	0,6885	0,5667	0,1658	1,2058
IACTEC	4,3724	3,1244	2,1269	6,6541

Fuente: Elaboración propia

Observando la Tabla 22 se comprueba que el procedimiento empleado indica que la condición de separabilidad es un supuesto coherente con los datos de la muestra analizada. Por tanto, podría afirmarse que los resultados de la sección anterior y las conclusiones que se derivan de los mismos son robustos.

Aun así, para dar mayor fiabilidad al análisis llevado a cabo y reforzar la idea de que la condición de separabilidad, supuesto capital para la solidez de los resultados ofrecidos, se cumple se han empleado tres test que demuestran la igualdad de las muestras y de la función de distribución empírica de las mismas. Si no se hallan diferencias significativas entre los coeficientes de SW y los de DS, se concluirá que la separabilidad se cumple. Por tanto, el método de doble bootstrap desarrollado en Simar y Wilson (2007) habría sido convenientemente empleado en esta aplicación empírica.

Los métodos no paramétricos empleados para contrastar la separabilidad han sido: La prueba de Kolmorov-Smirnov para dos muestras, la U de Mann-Whitney y un bootstrap para el test Kolmorov-Smirnov de para dos muestras.

Se tienen dos muestras independientes Coef.SW07 y Coef.DS05 que recogen los datos de los coeficientes estimados no condicionales y condicionales respectivamente. El tamaño muestral de ambas es igual a diez $(n_1 = n_2 = 10)$ y se quiere comprobar si las muestras proceden de la misma población o no. Los estadísticos descriptivos para las dos muestras se ofrecen en la Tabla 23.

Tabla 23. Estadísticos descriptivos muestras. AP

Muestras	n	Min	Cuartil 1	Mediana	Cuartil 3	Máx
Coef.SW07	10	-80,4499	-2.2701	0.26972	2.9340	45.9608
Coef.DS05	10	-29,7541	-1.3998	0.177723	2.17462	25,5694

Fuente: Elaboración propia

5.3.3.2.1. Test de Kolmorov-Smirnov de dos muestras

Se puede comprobar (Tabla 23) que la mediana es diferente para ambas distribuciones, lo que da más potencia al contraste de Kolmogorov-Smirnov, ya que refuerza la capacidad del test para detectar diferencias entre las dos muestras, que sería menor si tuvieran la misma posición central.

La prueba de Kolmorov- Smirnov (K-S) se basa en la diferencia absoluta máxima entre las funciones de distribución acumulada observada para ambas muestras. El estadístico de prueba es $D_{n_1,n_2} = \max\left|F_{n_1}(x) - F_{n_2}(x)\right|$, si la diferencia no es significativamente grande las distribuciones serán consideradas iguales. La decisión se basa en la comparación de este estadístico con el valor tabulado del estadístico Kolmorov-Smirnov para los tamaños muestrales n_1 y n_2 el nivel de significación α fijado.

En este caso, siendo los tamaños muestrales iguales para ambas muestras $n_1 = n_2 = 10$ y el nivel de significación de la prueba ∝=0,05 se contrastan las siguientes hipótesis:

H_0: Las dos muestras provienen de poblaciones con la misma distribución

H_1: Las dos muestras provienen de poblaciones con la distinta distribución

El test K-S evaluará si las dos muestras pueden considerarse procedentes de la misma población o no. Al comparar la distribución empírica de ambas muestras, si la discrepancia no es suficientemente significativa, se aceptará la hipótesis nula.

La tabla 24 presenta los resultados para el test de Kolmorov-Smirnov. Se advierte que de forma contundente se acepta la hipótesis nula, ambas muestras pertenecen a la misma población.

En este caso, con n= 10 y α=0,05 el valor crítico de las tablas del estadístico Kolmoro-Simirnov es de 0,223607. Al ser el valor del estadístico K-S (D) obtenido inferior al valor tipificado del estadístico de prueba, Z, se acepta la hipótesis nula, las funciones de distribución de las muestras no son significativamente diferentes. Se observa que el p-value es muy superior al nivel de significación establecido.

Tabla 24. Prueba Kolmorov-Smirnov en AP.

Contraste	
H0:	$F_{n_1}(x) = F_{n_2}(x)$
H1:	$F_{n_1}(x) <> F_{n_2}(x)$

Valor del Estadístico D	0,1
p-value	1
rechazoH0	**Falso**
Z (valor crítico)	0,223607

Fuente: Elaboración propia

5.3.3.2.2. Test de Mann-Whitney

La prueba de Mann-Whitney se emplea para contrastar si dos muestras independientes, de tamaño n_1 y n_2, proceden de poblaciones continuas idénticas o de la misma población. La hipótesis nula que se plantea en el test es si las dos muestras proceden de poblaciones con igual distribución. Esta se rechazará si el valor del estadístico muestral es inferior al valor crítico dado por las tablas. Considerando una muestra global $n_1 + n_2$ se asigna un rango a cada valor de la muestra desde 1 a $n_1 + n_2$ y se construye el estadístico U a partir de la suma de rangos(R_i):

$$U_i = n_1 n_2 + \frac{n_i(n_i+1)}{2} - R_i \quad i = 1,2 \tag{5.4}$$

Calculados U_1 y U_2, se seleccionará como valor del estadístico U de Mann-Whitney el menor de los dos y se comparará con el valor crítico U de la tabla de probabilidades para tamaños muestrales pequeños, como es el caso que nos ocupa. Si el mínimo valor U es mayor que el valor crítico Z= U (n_1, n_2, α), se aceptará la hipótesis nula, y quedará probado que las muestras se han tomado de poblaciones con distribuciones idénticas.

La tabla 25 muestra los rangos promedio y el resultado de la suma de los rangos asociados a cada una de las muestras de coeficientes, coeff.SW07 y coeff.DS05, para el servicio de alumbrado público.

Tabla 25. Tabla de rangos en la muestra global. AP

	n	Rango promedio	Suma de rangos (R_i)
Coef.SW07	10	10,7	107
Coef.DS05	10	10,3	103

Fuente: Elaboración propia

Se observa, en la Tabla 25 que el rango medio es similar en las dos muestras lo que es un indicio de que los valores de una de las poblaciones no tienden a ser más grandes o pequeños que los de la otra, y, en consecuencia, parece que llevará a aceptarse la hipótesis nula.

Tabla 26. Prueba de Mann-Whitney. AP

Contraste	
H0:	$F_{n_1}(x) = F_{n_2}(x)$
H1:	$F_{n_1}(x) <> F_{n_2}(x)$
Valor del Estadístico U	52
p-value	0.9118
Asymp. p-value	0,91
rechazoH0	**Falso**
Z (valor crítico)	0,11339

Fuente: Elaboración propia

Los resultados confirman los hallados en la prueba de Kolmorov-Smirnov (ver Tabla 26). Se pone de manifiesto que le valor del estadístico ($U = 52$) es muy superior al valor estandarizado que ofrecen las tablas $(Z = 0{,}11338934190277)$; por

lo que, no se podría rechazar la hipótesis nula planteada, aceptándose que las dos distribuciones no son significativamente diferentes.

La probabilidad del valor U calculado es 0,9118, muy superior al nivel de significación 0,05, por tanto, las dos muestras proceden de la misma población. Es decir, entre los coeficientes no condicionales SW07 y condicionales DS05 no existe diferencia significativa a un nivel de probabilidad de error del 0,05.

De nuevo se halla que las diferencias entre los coeficientes condicionales y no condicionales no son significativas. En consecuencia, se vuelve a aceptar que se cumple con el supuesto de separabilidad necesario para dar validez a la aplicación empírica llevada a cabo en esta investigación.

5.3.3.2.3. Bootstrap para el test Kolmorov-Smirnov de dos muestras

Se llevará a cabo un procedimiento bootstrap en el contraste de hipótesis de K-S. Consiste en emplear un método bootstrap para obtener muestras bootstrap de los datos creando una distribución empírica para estimar la distribución del estadístico D si la hipótesis nula es cierta. Las réplicas bootstrap se obtendrán siguiendo el mismo procedimiento, PGD, utilizado en la muestra. Esto permite calcular un p-valor más preciso, sobre todo, cuando las muestras son pequeñas, como en este caso, o la distribución teórica no es clara.

Al aplicar el procedimiento de remuestro, se generará un conjunto de muestras bootstrap para analizar el comportamiento del estadístico K-S. El algoritmo que se sigue sería: (1)se combinan los datos de las dos muestras originales, obteniendo una muestra M de tamaño n= 20; (2) se extrae una muestra M^* por muestro aleatorio con reposición del mismo tamaño que la original, de esa muestra 10 elementos serán selecionados para coeff.SW07* y otros 10 para coeff.DS05*; (3) se calcula el estadístico K-S $D_{n_1,n_2} = máx\left|F_{n_1}(x) - F_{n_2}(x)\right|$ .para esas dos submuestras bootstrap; (4) se repite el proceso B=2000 veces, se tendrán entonces B estimaciones del estadístico D*. Entonces se construye la distribución de frecuencias para los valores bootstrap tomados por el estadístico. La hipótesis nula que se plantea es que la distribución empírica bootstrap de cada una de las muestras es la misma, frente a la hipótesis de que son distintas; (5) Se compara con el estadístico K-S original, el p-valor indicará la proporción de estadísticos D^* generados que son mayores o iguales al original; (6) Si el p-valor es mayor que el nivel de significación fijado (0,05) se aceptará la hipótesis nula.

La tabla 27 muestra los resultados del botstrap K-S. Se confirma el resultado del test K-M calculado anteriormente, haciendo más fiable y creíble el resulto de dicho test.

Tabla 27. Prueba bootsatrap Kolmorov-Smirnov. AP

Contraste	
H_0:	$F^*_{n_1}(x) = F^*_{n_2}(x)$
H_1:	$F^*_{n_1}(x) <> F^*_{n_2}(x)$
Valor del Estadístico D	0,1
p-value	1
rechazoH_0	**Falso**

Fuente: Elaboración propia

El resultado del estadístico D es el mismo que en el test K-S sin el empleo de bootstrap. Se acepta la hipótesis nula, no existen diferencias significativas entre las distribuciones empíricas de las dos muestras. El grado de significación obtenido, p-value, es 1 por lo que la probabilidad de rechazar la hipótesis nula si esta es cierta es muy baja, nula. Los resultados obtenidos en esta prueba dan solidez a los obtenidos en el test K-S sin bootstrap.

La conclusión a la que se ha llegado en cada una de las tres pruebas realizadas es la misma, las muestras de coeficientes, condicionales e incondicionales, proceden de la misma población y siguen la misma distribución. Luego, se cumpliría el supuesto de separabilidad entre el soporte de las variables inputs y outputs y el de los factores determinantes de la eficiencia. Esto implica que el empleo del método de dos etapas Simar y Wilson (2007) estaría justificado y que los resultados y las conclusiones que se deriven de los mismos son robustos.

Asimismo, al verificarse la condición de separabilidad, la medida de eficiencia estimada y el consiguiente análisis de determinantes tienen significado económico. Si no se cumpliese, aun estando, bien definida y estimada, carecería de

tal significado al ignorar la heterogeneidad que los factores ambientales producirían en el conjunto de valores (x, y) (Bădin et al., 2012).

VI – DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA EN LA PROVISIÓN DEL SERVICIO MUNICIPAL DE PARQUES Y JARDINES

VI. DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA EN LA PROVISIÓN DEL SERVICIO MUNICIPAL DE PARQUES Y JARDINES

En las últimas décadas el crecimiento de las áreas urbanas ha sido significativo y sigue aumentando. Este desarrollo urbano, el 80% de la población española vive en zonas urbanas (Ministerio de Vivienda y Agenda urbana, 2023[75]), plantea varios desafíos a los municipios: crecimiento urbano, cambios demográficos y búsqueda de una mejor calidad de vida. Asimismo, conlleva una serie de implicaciones para los ciudadanos que habitan las ciudades: más densidad de población, contaminación, y dificultad de acceso a zonas verdes. Todo esto complica la administración de este servicio de parques y jardines a los administradores locales, que deben gestionar los recursos disponibles haciendo frente a la compleja planificación urbanística, la contaminación, polución del aire y una serie de perjuicios para los habitantes (problemas de salud, viviendas más pequeñas, difícil acceso al aire libre y a la naturaleza).

Desde mediados de los ochenta se ha ido prestando mayor atención a la mejora de la calidad de vida en las zonas urbanas (De Sousa, 2003) y son varios los organismos internacionales (RECS[76], CE[77], OCDE[78], OMS[79], ONU[80]) que la promocionan e insisten en el desarrollo de una planificación urbana que ofrezca un

[75] file:///C:/Users/usuario/Downloads/reasurbanasenEspaa2023.pdf

[76] Red Española de Ciudades Sostenibles (RECS), http://recs.es/

[77] Comisión Europea. Desarrollo regional y urbano de la Unión Europea-Ciudades y desarrollo urbano, https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development_es

[78] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico-Crecimiento verde y desarrollo sostenible, https://www.oecd.org/greengrowth/

[79] Red Europea de Ciudades Saludables de la Organización Mundial de la Salud,https://www.euro.who.int/en/health-topics/health-policy/sustainable-development-goals -Fase VII, http://recs.es/documentos-en-castellano-de-la-fase-vii-de-la-red-europea-de-ciudades-saludables/

[80] Organización de Naciones Unidas, Objetivos de desarrollo sostenible-Ciudades y comunidades sostenibles, https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/

entorno saludable a los ciudadanos, señalando a los municipios como el laboratorio privilegiado para tal promoción. La ecologización urbana mejora el bienestar social y la salud de los residentes. Los parques y jardines públicos ofrecen un lugar de ocio, encuentro y convivencia, que, a su vez, mejora la calidad medioambiental de los municipios, ya que juegan un papel importante en la descontaminación de los mismos. Asimismo, las áreas verdes y zonas recreativas favorecen la percepción de los habitantes sobre su calidad de vida (Marans, 2003).

Además, de estos beneficios ambientales y estéticos que las zonas verdes otorgan a las áreas urbanas, también se encuentran beneficios económicos derivados de la reducción del coste relativo de la expansión urbana y de la provisión de infraestructura, la atracción de inversión, el aumento del valor de las propiedades, la vigorización de la economía local y el aumento del turismo (Lener y Poole, 1999).

Si bien, la importancia social y ambiental de este servicio es obvia, sus beneficios económicos suelen permanecer ocultos tras los costes que se asocian a estas áreas verdes o parques, de mantenimiento y seguridad principalmente. Aún más, en periodos de crisis como el acontecido recientemente, donde la escasez de recursos hace destinar éstos a otros fines más acuciantes. Por tanto, se hace imprescindible identificar los beneficios desde cualquier dimensión para avalar la inversión en este servicio, así como buscar otras formas de satisfacerlo con calidad sin incurrir en un mayor gasto. El uso eficiente de los recursos disponibles es un primer paso que provocará que la provisión del servicio sea sostenible y emplee los fondos de la mejor manera posible, lo que redundará positivamente en el ciudadano.

En este contexto, a los gobiernos locales, en el ámbito de sus competencias, les corresponde prestar los servicios que contribuyan a alcanzar el desarrollo municipal de este siglo guiado por la sostenibilidad, vitalidad, competitividad y eficiencia (Nogueira y Camanho, 2013). Así, como garante, en base a la Ley reguladora de bases de régimen local 7/1985 artículo 25.2b[81], de la provisión del servicio de parques y jardines debe ofrecer a sus habitantes un entorno saludable y

[81] El municipio ejercerá como competencia propia: *"Medio ambiente urbano: en particular, parques y jardines públicos, gestión de los residuos sólidos urbanos y protección contra la contaminación acústica, lumínica y atmosférica en las zonas urbanas"*.

agradable estéticamente, que invite a vivir el espacio público lo que favorece la vitalidad del municipio y lo revitaliza económicamente.

Es por tanto necesario desarrollar la gestión y prestación de este servicio desde la óptica de la eficiencia con la finalidad de garantizar unos niveles adecuados del mismo. Un primer paso para alcanzar ese objetivo es saber en qué punto se está y cuál es camino a seguir, identificando los condicionantes más allá de la idoneidad de la gestión del ejecutivo local. Esta es la contribución que se espera hacer al desarrollar esta evidencia empírica en municipios españoles.

El capítulo vuelve a estructurarse en tres apartados que recogen la revisión de la literatura más relevante a este respecto, la definición y selección de variables inputs, outputs y ambientales, así como los resultados del análisis empírico en esta área municipal y las conclusiones que del mismo se deriven.

6.1. ANTECEDENTES EN LA LITERATURA

La literatura en el campo de parques y jardines es muy escasa desde la perspectiva que se aborda en este trabajo, examinar la eficiencia en la gestión de este servicio público y analizar los condicionantes de la misma. Hasta la fecha sólo un estudio ha analizado este servicio municipal de forma individualizada, Benito et al. (2010).

Ante este escenario, la investigación que aquí se desarrolla supone un avance en la detección de carencias o deficiencias que puedan tener los municipios en la gestión de los recursos de este servicio de gran relevancia económica y social, en un entorno donde se prima el cuidado medioambiental y la salud ciudadana en la búsqueda de municipios sostenibles.

Como se ha señalado, el estudio llevado a cabo para analizar, entre otros, la eficiencia del servicio de parques y jardines, se encuentra en Benito et al. (2010) dónde examinan los determinantes de la eficiencia en este servicio usando DEA y un análisis de regresión. Los indicadores usados como inputs son el coste de personal, el consumo corriente y las transferencias corrientes. Como outputs el número de metros cuadrados de áreas verdes y el número total de horas de mantenimiento y conservación. Analizando la relación del índice con las variables ambientales: nivel económico, carácter turístico del municipio, tamaño, tipo de gestión, signo político, esfuerzo, endeudamiento y situación financiera. Sus

resultados señalan sólo un 13% de municipios eficientes en la provisión de este servicio. Y el índice sólo muestra relación significativa con la densidad de población.

Si bien la ausencia de más estudios específicos sobre el servicio de parques y jardines impide realizar un análisis comparativo con resultados previos sí se encuentran estudios de eficiencia global que toman en consideración las infraestructuras derivadas del mismo como indicador del output de la producción municipal, en base a ello la revisión bibliográfica se centrará en esos estudios.

Son diversos los estudios tanto en España (Prieto y Zoido, 2001; Balaguer, 2004; Balaguer-Coll et al., 2007, 2010, 2013, 2019, 2020; Balaguer-Coll y Prior, 2009; Zafra-Gómez y Muñiz, 2010; Pérez-López et al., 2015; Narbón-perpiñan, Balaguer-Coll y Tortosa-Ausina, 2019; Narbón-perpiñan et al., 2020) como en otros países (De Borger et al., 1994; De Borger y Kerstens, 1996a, b; Moore et al., 2005; Sung, 200782; Šťastná y Gregor, 2011, 2015; Asatrayan y De Witte, 2015; Pacheco et al., 2014, 2021) que adoptan la superficie de parques y jardines públicos o área verde urbana como indicador del output municipal, ya que la provisión de este servicio suele ser una de las funciones que llevan a cabo los municipios.

6.2. DATOS Y SELECCIÓN DE VARIABLES

Al igual que en los capítulos anteriores las unidades de decisión a analizar son los municipios españoles de entre 5.000 y 50.000 habitantes Se dispone de una muestra inicial de 1.056 municipios, que suponen un 34,34% de la población total. Desafortunadamente la presencia de valores perdidos en algunas de las variables supuso eliminar varias observaciones, quedando la muestra finalmente en 202 municipios.

6.2.1. Indicadores inputs y outputs seleccionados para el análisis del servicio de parques y jardines

Como primer paso se determinarán los indicadores input y outputs que intentarán reflejar la relación existente entre el servicio prestado, en este caso las infraestructuras realizadas y los costes incurridos para su obtención. Para ello, se

[82] Emplea el área de parques urbanos por persona.

ha seleccionado un input discrecional: WPARK. Es el gasto total en parques y jardines, conforme al coste de la subfunción 171 "Parques y Jardines" en base a la Orden EHA/3565/2008, de 3 de diciembre, por la que se aprueba la estructura de los presupuestos de las entidades locales. Los datos fueron obtenidos del Ministerio de Hacienda y Administraciones Públicas.

Se han seleccionado las variables PARKURB, PARKINF, GARDEN y ZGREEN como indicadores outputs. Recogen, respectivamente, el número de parques urbanos, el número de parques infantiles, el número de jardines y los metros cuadrados de superficie total de zonas verdes. Las cifras de las cuatro variables provienen de la EIEL. Estos indicadores tienen significación en el contexto específico de esta investigación y han sido utilizados como outputs por diversos autores, como se ha comprobado en la revisión previa

6.2.2. Factores explicativos seleccionados para el servicio de parques y jardines

Investigar el impacto de los factores exógenos permitirá dilucidar como a algunos municipios les es imposible alcanzar la "mejor práctica" debido a un entorno relativamente adverso respecto a otras unidades.

La selección ha sido realizada mediante un estudio previo del entorno en el que los municipios desarrollan la actividad, tomando en consideración un amplio conjunto de factores que podrían incidir en el nivel de ineficiencia de los municipios.

- TBURDEN, indicador de la presión fiscal de los habitantes del municipio. La variable es calculada como el importe de los capítulos 1, 2 (impuestos municipales directos e indirectos) y 3 (tasas y precios públicos) del presupuesto liquidado de ingresos entre la población del municipio. Los datos se obtuvieron del Ministerio Hacienda, mientras que el dato de población procede del INE. Este indicador del esfuerzo impositivo realizado por los habitantes ha sido usado en otros estudios de evaluación de eficiencia en España (Fernández y Flórez, 2006).

  En principio se puede especular que una mayor presión fiscal sobre los ciudadanos de un municipio los hará más sensibles a la calidad de los servicios prestados, a este respecto los ciudadanos exigirán un mayor número de jardines y parques y con mejores prestaciones que ante una baja presión fiscal. Los

ciudadanos sometidos a un nivel alto de impuestos controlarán más exhaustivamente el gasto público, incentivando al gestor a desarrollar una actuación más eficiente (Davis y Hayes, 1993). Si bien, también puede llevar al gestor público a actuar en busca del lucimiento personal con acciones atractivas, en lugar de llevar a cabo otras más eficaces, pero menos visibles (Lindsay, 1976). Asimismo, a mayor presión fiscal sobre el contribuyente menor será la propensión de la autoridad local para gestionar convenientemente (Balaguer-Coll y Prior, 2009), la disponibilidad de mayores recursos limitará las restricciones presupuestarias. Este último efecto es el que han presentado las aplicaciones empíricas anteriores, en base a ello y en línea con la mayoría de la literatura (entre otros Balaguer-Coll et al., 2002, 2007; Sung, 2007; Borge et al., 2008; Kalb, 2010; Asworth et al., 2014; Šťastná y Gregor, 2015; Agassisti et al., 2016; Pacheco et al., 2021) se espera una asociación desfavorable con la eficiencia.

- INCOME, renta municipal. Los datos fueron suministrados por el Instituto L. R. Klein dependiente de la Universidad Autónoma de Madrid. Ya se explicó en el capítulo anterior como se construye esta variable. La hipótesis a formular sobre esta variable podría ser un impacto negativo sobre la eficiencia, puesto que un alto nivel de renta supondrá mayor capacidad del municipio para captar fondos mediante ingresos fiscales lo que desmotivará a llevar a cabo una gestión eficiente. Por otra parte, si el nivel de riqueza y los altos ingresos de los residentes locales se tradujese, de algún modo, en un incremento de la presión en la demanda de servicios públicos más eficientes el impacto sobre el nivel de eficiencia alcanzado sería favorable (Afonso y Fernándes, 2008).

- HOUSEV, esta variable es calculada como el valor catastral entre el número de bienes inmuebles. La fuente de datos es la Dirección General del Catastro. Ofrece información sobre la riqueza del municipio, por lo que en principio se espera que se comporte de forma similar a las anteriores. Si el municipio presenta un alto valor catastral implicaría mejores viviendas, con más espacio y por tanto, menos necesidad de emplear el espacio público lo que llevaría a un menor control y exigencia de los ciudadanos que derivaría en una peor gestión que redundará en menor eficiencia.

- PDENSURB, indicador de la densidad de población por km² urbanizado. Calculada como población (número de habitantes) entre los km² totales de suelo edificado del municipio. La información necesaria para su cálculo se obtuvo del INE y de la Dirección General del Catastro. No se establece a priori el efecto de esta variable puesto que su efecto es ambiguo, encontrando por un lado que a mayor densidad es normal que los habitantes vivan en casa más pequeñas o sin espacio privado al aire libre (Nogueira y Camanho, 2013), lo que llevará a exigir a las autoridades más cantidad y calidad de parques y jardines que desempeñarán el rol de extensión de sus propias casas. Esa presión llevará al gestor municipal a un mejor aprovechamiento de los recursos, sobre todo si no tiene facilidad para generar ingresos adicionales, para satisfacer las necesidades de la población, y además, llevará a los residentes a ejercer vigilancia sobre el desempeño del gestor. Por otro lado, los problemas de aglomeración pueden incrementar los costes de mantenimiento de los parques y jardines. Resultará interesante interconectar el impacto de esta variable con el de HOUSEV para analizar su implicación sobre el nivel de eficiencia. Geys et al. (2013) creen que la densidad de población puede emplearse como una aproximación a la heterogeneidad de los precios de las propiedades, encontrándose grandes diferencias entre los municipios urbanos o más poblados y los municipios rurales o con menos población, lo que puede afectar a los costes del municipio. En tal caso, el efecto de las variables PDENSURB y HOUSEV sobre la eficiencia debería coincidir.

Si bien, varios autores no han encontrado impacto significativo sobre la eficiencia de indicadores de las características políticas de los municipios (Hagen y Vabo, 2005; Geys 2006; Balaguer-Coll et al., 2007, Benito et al., 2010; Bosch et al., 2012; Søresen, 2014; Agasisti et al., 2016; Balaguer-Coll et al., 2019; Pacheco et al., 2021, Cusack (1997) señala la relevancia de la ideología política en la gestión y el rendimiento del sector público. Así, con la intención de comprobar si se cumple esa afirmación en este caso y para otros factores políticos se han incluido las dos variables que se detallan a continuación.

- POLITICS, factor exógeno categórico dummy. Sus valores 0 y 1 representan el signo político -conservador o progresista- del partido en el poder en cada municipio. Los datos son tomados de las elecciones de 2011 y fueron obtenidos

del Ministerio del Interior. El efecto de la ideología sobre la eficiencia no es fácil de determinar a priori por lo que no se asume ninguna hipótesis de partida.

- HERFINDAHL. Como se especificó en el subepígrafe 5.2.2., el índice Herfindahl ofrece una aproximación a la fortaleza política del gobierno local. El índice, calculado como la suma de los cuadrados de las proporciones de concejales de cada partido en el gobierno local, varía entre 0 (máxima fragmentación) y 1 (máxima fortaleza). Los datos fueron obtenidos del Ministerio del Interior.

  Si los partidos políticos en el poder tienen mayoría absoluta, el control de los gastos por otros agentes será más difícil y la eficiencia puede no ser el criterio usado en sus actuaciones (Balaguer–Coll et al., 2007). Sin embargo, un líder político fuerte aguanta mejor la presión para relajar las medidas presupuestarias que menoscabaría la eficiencia usando más presupuesto y también, tiene más poder para negociar e implantar políticas que mejoren el rendimiento (Borge et al., 2008). En base a la revisión de la literatura llevada a cabo (ver anexos), se conjetura un efecto negativo sobre la eficiencia de esta variable.

Se incluyen una serie de variables que recogen las características sociodemográficas de la población. Puede resultar interesante analizar el servicio prestando atención a los distintos grupos de edades y sus necesidades ya que puede condicionar el diseño de los parques y su eficiencia (cf. Rouhi et al., 2016). Las variables seleccionadas recogen distintos tramos de la pirámide poblacional, ya que si bien todos los tramos de edad se benefician de estos espacios públicos difieren en el uso dado y el momento a lo largo del día en el que acuden a él (Nogueira y Camanho, 2013). Se atenderá así a las distintas necesidades que cubre el servicio en base a la edad de la población. En concreto interesa analizar el impacto de las siguientes variables sobre los índices de eficiencia de los municipios.

- POP65, porcentaje de población mayor de 65 años. La fuente de los datos es el INE. Se puede suponer que cuanto mayor sea la proporción de población mayor de 65 años, mayor será el uso dado a esos espacios ya que estas personas jubiladas disponen de un mayor tiempo para disfrutar del ocio al aire libre. Por lo que el nivel de exigencia de esta franja de la población respecto a las zonas

verdes será superior lo que llevará a los gestores públicos a un mayor control y vigilancia de la calidad de este servicio. Por tanto, se espera un efecto positivo en la eficiencia relativa.

- POP15_24, porcentaje de población entre 15 y 24 años. Los datos proceden del INE. El uso dado por la población perteneciente a esta franja de edad no siempre es el adecuado lo que puede incrementar el coste de mantenimiento de estas áreas, en consecuencia, se espera un efecto negativo sobre la eficiencia del municipio.

Se ha propuesto un efecto diferente para cada una de esas variables; sin embargo, Sørensen (2014) encuentra una asociación negativa tanto con el porcentaje de gente joven como de gente mayor sugiriendo que un alto "ratio de dependencia" de la población lleva a una menor producción de servicios públicos.

- SCHOOL, porcentaje de población en edad escolar. La fuente de donde se han extraído los datos es el INE. Esta variable puede ser analizada como cantidad de población en edad escolar o como aproximación al nivel de estudios. Desde la primera perspectiva, un mayor porcentaje de población en esta franja de edad se espera que influya positivamente en el nivel de eficiencia puesto que la demanda de estas zonas será mayor y los recursos deberán administrarse de forma más responsable. Analizando su incorporación desde la segunda perspectiva, habitualmente un mayor nivel educativo de la población favorece la eficiencia (De Borger et al., 1994; De Borger y Kersten, 1996a; Loikkanen y Susiluoto, 2005), teniendo en cuenta las campañas emprendidas en los colegios para la concienciación de llevar una vida saludable y activa evitando el excesivo uso de videoconsolas o televisión lo que fomentará la demanda de espacios al aire libre. Además, la educación ambiental a los ciudadanos los capacita para un uso responsable de estos espacios, ya que su uso afecta directamente al coste de mantenimiento y conservación del servicio. Esto podría implicar más respeto por los espacios públicos y más interés por disfrutar de estas zonas de juego y convivencia, por lo que se espera un efecto positivo sobre la eficiencia.

Asimismo, la inclusión de las tres variables de control anteriores puede ayudar analizar el efecto del peso de los grupos de interés para la gestión de servicios municipales (Hagen y Vabo, 2005).

Para completar el estudio de determinantes, se han añadido dos factores que desentrañan un desafío a los gobiernos actualmente y que pueden condicionar en gran medida la gestión que llevan a cabo.

- UNEMPLOY, desempleo municipal recogido como la proporción de población activa en paro. La variable es calculada como el paro registrado en tanto por ciento entre la población activa. Obtenido del Anuario económico de la Caixa. Un alto nivel de desempleo exigirá destinar una gran cantidad de fondos a subsidios por desempleo que conducirá a una escasez de recursos, haciendo el control del gasto más riguroso y efectivo, en tal caso la asociación esperada con la eficiencia sería positiva.

- INMIGR, proporción de inmigrantes respecto al total de población del municipio. Proceden del INE los datos necesarios para su cálculo.

También, ambas variables pueden ser vistas como indicadores socioeconómicos, altos valores de estas variables reflejarían una débil situación económica incrementando el coste unitario de los servicios (Loikkanen et al., 2011). No se establece a priori un signo sobre la posible relación de las variables consideradas con la eficiencia, dado que no existe consenso al respecto. En este sentido esta investigación contribuye a clarificar el estado de la literatura.

Otro conjunto de variables exógenas que se ha considerado interesante analizar su impacto sobre la eficiencia del servicio han sido los de índices económicos que nos pueden aclarar si el tejido empresarial del municipio afecta a la puntuación obtenida por las unidades analizadas, la fuente de procedencia de estos datos es el Anuario de la Caixa.

- ININD, el índice industrial mide el peso de esta actividad en el municipio. Un municipio muy industrializado tendrá un mayor grado de polución y un paisaje más antiestético, en consecuencia, los requerimientos sobre la autoridad municipal serán mayores, demandando unas infraestructuras que mejoren la calidad del aire y la sensación de bienestar de los vecinos. Esto puede repercutir sobre la eficiencia del coste del servicio de dos formas contrapuestas por un lado haciendo un uso más productivo y eficiente de los recursos o incrementándolo debido al mayor gasto en mantenimiento o de creación de

nuevas infraestructuras que puede tener que requerir la descontaminación del suelo para su nuevo uso.

- ICOMM, el índice comercial ofrece la magnitud del comercio en el municipio. Una mayor actividad comercial implicará un mayor nivel económico en el municipio, consecuentemente una mayor capacidad recaudatoria y menor rigor en el uso de recursos, viéndose la eficiencia afectada negativamente. Sin embargo, un centro con comercios requiere un entorno agradable que permita hacer un alto en los días de compras y ello puede repercutir en intentar usar los recursos de forma eficiente para ofrecer un servicio de calidad que fomente la actividad comercial (De Sousa, 2003).

- ITURIST, índice turístico representa la importancia del turismo en el municipio. La provisión de este servicio tiene repercusiones significativas sobre la actividad turística y viceversa. Una mayor oferta de áreas verdes públicas hace más atractivo el municipio no sólo para los residentes sino también para atraer visitantes (Carr et al., 1992; Swanwick et al., 2003), esto puede convertirse en un factor que fomente la gestión eficiente del servicio con la finalidad de ofrecer más calidad.

- IACTEC, índice de actividad económica. Este tipo de infraestructuras se pueden utilizar para impulsar el crecimiento económico de los municipios (De Sousa, 2003). El mayor grado de actividad económica derivará en mayor nivel económico del municipio, lo que exige mejores niveles de calidad de los servicios, se testará esta hipótesis. En este sentido se encuentran trabajos que asocian mayores niveles de renta a mayor actividad económica en el municipio (Balaguer et al., 2013). El trabajo de Benito et al. (2010) encuentra débil evidencia al respecto, al encontrar en el 70,83% correlaciones positivas, pero no significativas entre los niveles de eficiencia de los distintos servicios analizados y el nivel económico del municipio.

Este conjunto de 15 variables representa una síntesis apropiada de las diferentes condiciones financieras, socioeconómicas, demográficas y políticas que reflejan el panorama en la que se desenvuelve la prestación de este servicio

municipal y que podría explicar las posibles ineficiencias que se detecten en el análisis empírico.

6.3. RESULTADO DEL ANÁLISIS EMPÍRICO

A la hora de mostrar los resultados se presentará inicialmente el cálculo de los índices de eficiencia mediante la incorporación de los inputs y outputs seleccionados en el modelo DEA con una orientación hacia inputs, para con posterioridad aplicar el enfoque de dos etapas Simar y Wilson (2007), donde en la primera etapa se calcularán los índices de eficiencia insesgados, que serán regresados en la segunda etapa del análisis mediante una regresión truncada sobre un conjunto de factores exógenos del entorno socioeconómico y político de los municipios.

La Tabla 28 recoge la selección de variables incorporadas al modelo en base a la literatura que evalúa la eficiencia y sus determinantes en el ámbito municipal en general, y en el área de parques y jardines en particular.

Tabla 28. Variables incorporadas en el análisis del servicio de parques y jardines[83]

Descripción	Notación	Variable	Indicador
Inputs	X_1	WPARK	Gasto en parques y jardines
Outputs	Y_1	PARKURB	Número de parques urbanos
	Y_2	PARKINF	Número de parques infantiles
	Y_3	GARDEN	Número de jardines
	Y_4	ZGREEN	Superficie toral de zonas verdes m^2
Factores exógenos	Z_1	TBURDEN	Presión fiscal
	Z_2	INCOME	Renta municipal
	Z_3	PDENSURB	Densidad de población por km^2urbz.
	Z_4	HOUSEV	Valor catastral/número de bienes inmuebles
	Z_5	POLITICS	Signo político
	Z_6	HERFINDAHL	Fortaleza política
	Z_7	POP65	Porcentaje de población mayor de 65años
	Z_8	POP15_24	Porcentaje de población entre 15 y 24 años
	Z_9	SCHOOL	Proporción de población escolar
	Z_{10}	UNEMPLOY	Tasa de desempleo municipal.
	Z_{11}	INMIGR	Proporción de inmigrantes
	Z_{12}	ININD	Índice industrial
	Z_{13}	ICOMM	Índice comercial
	Z_{14}	ITURIST	Índice turístico
	Z_{15}	IACTEC	Índice de actividad económica

Fuente: Elaboración propia

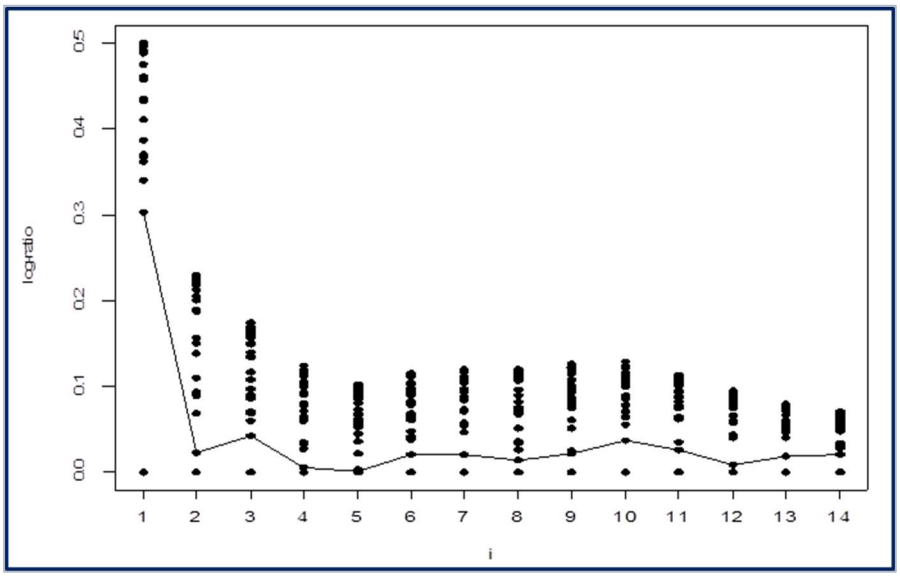
[83] Parques y Jardines (PJ).

6.3.1. Depuración de los datos

Tras un primer estudio pormenorizado de los datos, se han tenido que eliminar varias unidades que presentaban valores nulos o erróneos para alguna de las variables seleccionadas, quedando una muestra definitiva de 202 municipios españoles de entre 5.000 y 50.000 habitantes.

Se procede a aplicar el procedimiento establecido por Wilson (1993) con la finalidad de eliminar las DMUs atípicas o extremas que pueden producir sesgo e inconsistencia en los resultados, dada la alta sensibilidad de la metodología DEA a estos valores atípicos o extremos. Así, empleando FEAR 2.01 se muestran a continuación el gráfico de la Figura 15 de los log-ratios y en la Tabla 29 la matriz de datos $R_{Min}^{(i)}$ para averiguar si la homogeneidad de la muestra es aceptable o es necesario depurarla.

Figura 15. Análisis de valores atípicos para PJ. Log-ratio



Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Valores atípicos en los datos de PJ. Valores de $R_{Min}^{(i)}$

i	Municipios														$R_{Min}^{(i)}$
1	152														0,58424069
2	116	152													0,44727739
3	116	22	152												0,34987814
4	116	70	22	152											0,28360055
5	24	116	70	22	152										0,22935607
6	116	70	49	45	22	152									0,18223996
7	24	116	70	49	45	22	152								0,1470367
8	176	24	116	70	49	45	22	152							0,12115328
9	140	176	24	116	70	49	45	22	152						0,09907736
10	172	140	176	24	116	70	49	45	22	152					0,0819099
11	180	172	140	176	24	116	70	49	45	22	152				0,06961664
12	155	180	172	140	176	24	116	70	49	45	22	152			0,06021489
13	155	180	80	172	140	176	24	116	70	49	45	22	152		0,0525332
14	102	155	180	80	172	140	176	24	116	70	49	45	22	152	0,04666556

$R_{Min}^{(i)}$ i=1 a i=14

Fuente: Elaboración propia

Analizados, detalladamente, los municipios señalados como posibles valores atípicos por el procedimiento de Wilson (1993), se ha procedido a no eliminar ninguna observación. Ya que si bien se aprecia para i=1 una separación algo superior al resto de saltos que podría calificar a la unidad mun152 como posible outlier, no suele ser fiable catalogarla como tal ante un valor bajo de i. No obstante, se indaga en las características del municipio 152. Presenta un gasto total de abastecimiento del servicio muy por encima de la media, lo que en principio es coherente con los valores que alcanzan los indicadores de output, una superficie de zonas verdes es también muy superior a la media (785.980m^2) y el máximo número de parques urbanos. No parece ser un error sino más bien una particularidad y, por tanto, interesante incluirse en la investigación. Se mantiene el municipio.

A continuación, se resuelve el procedimiento de Simar (2003) para detectar potenciales outliers con la idea de comprobar si éste refuerza la decisión tomada tras el análisis de los resultados del procedimiento de Wilson (1993, 1995).

Para ello se calculan los coeficientes orden-m para diferentes valores de m, bajo orientación input y output, y para B=200.

Bajo la orientación input, los índices superiores o iguales a 1 son los que hay que observar. La Tabla 30 presenta una selección de los municipios señalados por el procedimiento "semiautomático" de Simar (2003). Inicialmente, para m=10, identifica 36 municipios fuera de la frontera, un 17,8% de la muestra. Sin embargo, el número de unidades por encima del mínimo input óptimo esperado disminuye conforme aumenta m. Así, para m=50, sólo 4 observaciones permanecen fuera de la frontera de orden-m y para m=150 únicamente mun036 presenta un coeficiente superior a 1.

Tabla 30. Coeficientes orden-m de Simar (PJ). Orientación input

	Valor de m	10	25	50	75	100	150
	Valor de B	200	200	200	200	200	200
	Orientación	Input	Input	Input	Input	Input	Input
MUNICIPIO	mun	Scores	Scores	Scores	Scores	Scores	Scores
Archena	mun022	2,685	1,5145	1,0965	1,049	1,03	1
Blanes	mun036	4,4425	2,47875	1,43375	1,17875	1,04875	1,01625
Oleiros	mun118	6,756667	2,931667	1,685	1,386667	0,898333	0,561667
Tiana	mun179	1,685556	1,066389	1,010556	1	1	1

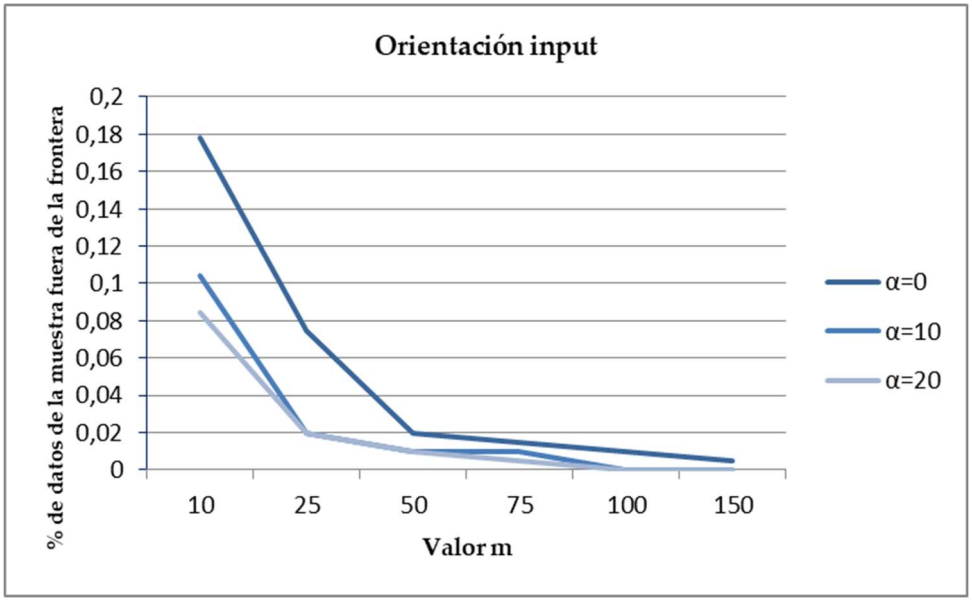
Fuente: Elaboración propia

Si se toman como parámetros de ajuste m=50, según la gráfica mostrada en la Figura 16 es donde parece estabilizarse el número de unidades que se sitúan fuera de la frontera, y α=0, los cuatro municipios que aparecen como supereficientes son mun022, mun036, mun118 y mun179 (ver tabla 30). Por ejemplo, Archena mun022 presenta valores superiores a 1 bajo orientación input, pero, conforme aumenta el valor de m, el coeficiente se va aproximando a 1. Eso elimina las sospechas. Lo mismo ocurre con el resto de los municipios que presentan un índice superior a la unidad, al incrementar m su índice va disminuyendo.

No obstante, para los cuatro municipios detectados como posibles sospechosos de ser outlier se ha revisado y analizado la información que se dispone de los mismos, no detectándose fallos ni errores de medida. El score se acerca a uno conforme m aumenta y no se puede decir de forma clara que se separen

pronunciadamente de la nube de puntos. Además, como se ha señalado para m=150 sólo m036 permanece fuera de la frontera y con α=0.016, es decir, un α bastante menor al 10%, porcentaje que Simar (2003) califica de insuficiente para desechar a una unidad como outlier. Así las cosas, desde la perspectiva input se decide no eliminar ninguno de los municipios.

Figura 16. Porcentaje de municipios fuera de la frontera de orden-m. PJ

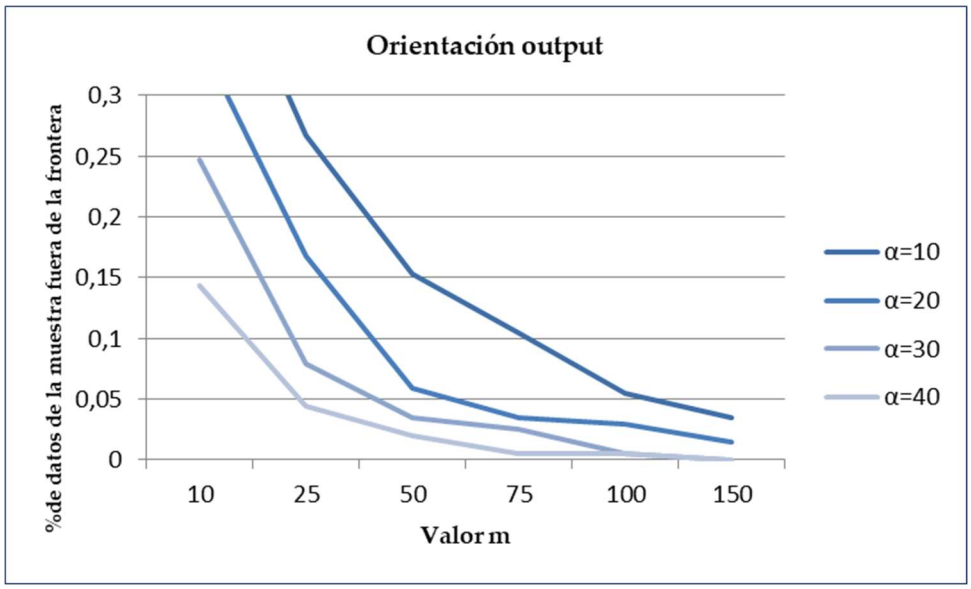


Fuente: Elaboración propia

Conforme propone Simar (2003) se realiza el procedimiento bajo orientación output. La Figura 17 muestra las líneas que representan el porcentaje de observaciones fuera de la frontera para diferentes parámetros de ajuste. Se puede observar que las curvas son más pronunciadas que respecto la orientación input. El procedimiento señala más unidades como posibles valores extremos bajo esta orientación. Para m=10, 123 observaciones, lo cual excede el 7%[84] de puntos fuera de la frontera que como máximo se considera razonable. Para aproximarnos más, se debe de seleccionar unos parámetros de ajuste más razonables. En base al gráfico se seleccionará m=75 y α=0,2, donde la curva se estabiliza de forma más clara.

[84] $\sqrt{n}/n = 0.0703$, Simar (2003) cita a Barnett y Lewis (1995) para establecer un porcentaje máximo de outlier aceptados en base al tamaño muestral.

Figura 17. Porcentaje de municipios fuera de la frontera de orden-m. PJ



Fuente: Elaboración propia

Tomando en consideración los parámetros de ajuste seleccionados, 7 municipios se sitúan con un coeficiente order-m de eficiencia inferior al máximo nivel de output esperado por 75 municipios que gastan los mismos o menos recursos que el municipio evaluado. La tabla 31 muestra esos 7 municipios. Tras analizar la información contenida en nuestra base de datos y cotejarla con la fuente original no se han detectado errores. Se procede ahora a analizar en profundidad la información contenida en la tabla 31.

Los municipios susceptibles de ser outlier, ahora, son aquellos que tienen un coeficiente menor a la unidad. Se observa que la mayor parte de las observaciones marcadas por el procedimiento al aumentar el valor de m, su coeficiente se aproxima a 1. Especialmente extremo aparece el mun152, el mismo que marcaba el procedimiento de Wilson; sin embargo, las unidades señaladas no coinciden con las marcadas desde la otra orientación. La atipicidad del mun152 del lado de los outputs, se debe a un valor atípicamente alto para uno de los outputs (m^2 de superficie de zonas verdes).

Tabla 31. Coeficientes orden-m de Simar (PJ). Orientación output

	Valor de m	10	25	50	75	100	150
	Valor de B	200	200	200	200	200	200
	Orientación	Output	Output	Output	Output	Output	Output
MUNICIPIO	mun	Scores	Scores	Scores	Scores	Scores	Scores
San Javier	mun152	0,2398819	0,3197576	0,4547641	0,5463988	0,5741972	0,7000414
Don Benito	mun070	0,2867054	0,409876	0,5288662	0,6261511	0,7153218	0,7642884
Candelaria	mun049	0,2904011	0,4157451	0,5730481	0,6422059	0,7054412	0,8158422
Arroyo de la Encomienda	mun024	0,3041409	0,4325455	0,5130293	0,6621632	0,7104287	0,7717464
Camargo	mun045	0,298088	0,483033	0,6221677	0,6984968	0,7717857	0,8300952
Teguise	mun176	0,3870357	0,5344643	0,6549643	0,7416071	0,8292857	0,9103571
San Miguel de Salinas	mun153	0,4301184	0,5770556	0,6685556	0,7451389	0,7873611	0,8597222

Fuente: Elaboración propia

Conforme a la técnica expuesta en Simar (2003) se procede a calcular cuántas unidades de la muestra dominan a los municipios cuyos índices de eficiencia se alejan más de la unidad, sobrepasando el límite de α= 0,2. El valor N_{outpus} indicará los puntos que presentan menor o igual nivel de recursos empleados que la unidad analizada. Los valores obtenidos para los mun152,070 y 049 son bajos por lo que podrían indicar que se encuentran fuera de la nube de puntos. No obstante, solo ocurre en una dimensión, el valor de la eficiencia de order-m en la otra dirección no confirma que sean outliers potenciales (Simar 2003, p.404). Además, son etiquetados para un valor de α menor a 0,3. Simar (2003) señala la importancia de eliminar sólo aquellas unidades que claramente están fuera de la nube de puntos, *para un α suficientemente amplio* (p.402).

Dado que este procedimiento lo que persigue es especificar los puntos fuera de la frontera en ambas orientaciones, prevaleciendo aquella dirección que deje menos observaciones fuera de la frontera de orden-m, se examinan los resultados de forma conjunta. Para m=50 y α=0, parámetros de ajuste seleccionados en la orientación input que es la que prevalece en esta aplicación, solo una unidad se etiquetaría como supereficiente en ambas direcciones (ver tabla 57). Si bien el mun179 permanece fuera de la frontera, para m=50, tanto en la orientación input

como output, el valor de es muy inferior al 10% y, además, para valores mayores de m su coeficiente toma el valor 1. Teniendo en cuenta los resultados globales, no se detecta ningún municipio que se pueda eliminar claramente.

Tabla 32. Coeficientes-m input y output posibles outliers en PJ

	Valor de m	10	25	50	75	100	150
	Valor de B	200	200	200	200	200	200
MUNICIPIO	mun	Cf.input	Cf-input	Cf-input	Cf-input	Cf-input	Cf-input
Tiana	mun179	1,6856	1,0664	1,011	1	1	1
MUNICIPIO	mun	Cf.output	Cf.output	Cf.output	Cf.output	Cf.output	Cf.output
Tiana	mun179	0,8685	0,9819	0,9986	0,9997	1	1

Fuente: Elaboración propia

Para los dos procedimientos, Wilson (1993) y Simar (2003), se ha repetido el procedimiento eliminando las unidades señaladas como posibles outlier con la intención de comprobar que no existía efecto enmascaramiento. Los resultados muestran que suprimir esas observaciones no influye sustancialmente en los índices de eficiencia de las otras DMUs, por lo que se decide mantenerlas.

Finalizado el procedimiento de depuración de datos la muestra permanece con 202 municipios a los que se procede a calcular sus índices de eficiencia relativa. La Tabla 33 ofrece los principales descriptores estadísticos (valor mínimo y máximo, media y desviación típica) para cada una de las variables relevantes en el análisis de determinantes del servicio de parques y jardines.

Se puede observar que tanto la variable input y como las variables outputs presentan un valor de desviación típica ligeramente superior al valor de la media (un 16%) de la variable subrayando las diferencias en gasto e instalaciones entre municipios. En el caso de las variables no discrecionales solamente ITURIST presenta este rasgo lo que implica que el carácter turístico de los municipios es muy variado, mientras que son más homogéneos en el resto de las características socioeconómicas y políticas.

Tabla 33. Resumen estadístico de las variables seleccionadas en el servicio de PJ

VARIABLE	Media	Desviación Típica	Mínimo	Máximo
WPARK	290150,90	314979,62	777,29	1890315,36
PARKURB	10,20	11,17	1	104
PARKINF	4,71	5,37	1	36
GARDEN	5,09	5,89	1	41
ZGREEN	144674,89	195740,62	3140	1509578
TBURDEN	527,36	303,58	138,164	2824,63
INCOME	4,90	2,14	1	10
PDENSURB	7953,34	4121,77	2011,973	29493,999
HOUSEV	44,65	28,53	6,823	175,898
POLITICS	0,66	0,47	0	1
HERFINDAHL	0,41	0,09	0,195	0,74
POP65	0,17	0,06	0,038	0,368
POP15_24	0,11	0,02	0,057	0,147
SCHOOL	0,15	0,03	0,06	0,229
UNEMPLOY	13,27	3,99	5	25
INMIGR	0,12	0,14	0,011	0,776
ININD	28,18	48,75	1	452
ICOMM	28,77	24,84	2	126
ITURIST	38,91	138,75	1	1370
IACTEC	24,31	24,71	1	180

Fuente: Elaboración propia

6.3.2. Índices de eficiencia DEA

En un primer momento se calculan los índices de eficiencia evaluando la eficiencia de cada municipio con la finalidad de seleccionar el modelo DEA adecuado para los datos de la muestra.

Bajo el supuesto de rendimientos constantes mediante el modelo CCR (DEA-CRS) se calcula la eficiencia técnica global. Al resolver el modelo bajo rendimientos variables, BCC (DEA-VRS), se especifica la ineficiencia técnica pura de las unidades no eficientes. Mientras que los problemas de dimensión se identificarán al calcular la eficiencia de escala.

La información presentada en la Tabla 34 muestra que al evaluar la eficiencia mediante DEA-CRS sólo 2 municipios son clasificados como relativamente eficientes. Se observa que la eficiencia CRS implica también eficiencia VRS y NIRS, mientras que si se resuelve la formulación DEA-VRS, que establece rendimientos variables a escala, 19 son catalogados como referentes o "mejores prácticas" de entre los 202 municipios evaluados. Lo que evidencia la importancia del tamaño municipal y de la existencia de rendimientos a escala para influir en la calificación de los municipios como eficientes o no. Los 17 municipios que ahora alcanzan la frontera, que no eran considerados eficientes bajo el modelo CCR, no presentan ineficiencia técnica pura sino solamente manifiestan problemas de dimensión. Por ejemplo, el municipio Oleiros obtiene una eficiencia técnica global de 93,24%, solo tendría que reducir los gastos un 6,76% para ser totalmente eficiente, al ser comparado con municipios de igual dimensión el municipio es considerado eficiente al situarse sobre la frontera estimada bajo DEA-VRS, por lo que presenta eficiencia técnica pura pero no de escala donde exhibe rendimientos decrecientes lo que implica que está operando por encima del tamaño óptimo, hay sobreutilización de recursos. Los valores mínimos del índice para cada caso son obtenidos por los municipios La Almunia de Doña Godina (Zaragoza) con un valor de 0,0017 y Camas (Sevilla) con un valor de 0,0052. Esos valores mínimos implican que estos municipios podrían teóricamente alcanzar de media el mismo output con un 99,83% y un 99,48% menos de recursos respectivamente.

Tabla 34. Índices de eficiencia DEA-CRS-VRS-NIRS para PJ

PROVINCIA	MUNICIPIO	CRS	VRS	NIRS	RTS
Granada	Baza	1	1	1	CRS
Cáceres	Plasencia	1	1	1	CRS
Coruña, A	Oleiros	0,9324	1	1	DRS
Girona	Blanes	0,6909	1	1	DRS
Murcia	Santomera	0,4230	1	1	DRS
Murcia	Archena	0,3370	1	1	DRS
Cantabria	Suances	0,2344	1	1	DRS
Alicante	Alfàs del Pi (l')	0,1578	1	1	DRS
Almería	Níjar	0,1214	1	1	DRS
Palmas, Las	Teguise	0,0786	1	1	DRS
S Cruz Tenerife	Candelaria	0,0685	1	1	DRS
Cantabria	Camargo	0,0666	1	1	DRS
Cáceres	Coria	0,0654	1	1	DRS
Málaga	Cártama	0,0443	1	1	DRS
Murcia	San Javier	0,0348	1	1	DRS
Alicante	S. Miguel Salinas	0,0330	1	1	DRS
Badajoz	Don Benito	0,0276	1	1	DRS
Jaén	Torre del Campo	0,0225	1	1	DRS
Valladolid	Arroyo Encomienda	0,0200	1	1	DRS

Fuente: Elaboración propia

Aquellos municipios que obtienen un índice igual a la unidad bajo los tres modelos (Baza y Plasencia), presentan eficiencia de escala igual a la unidad y exhiben rendimientos constantes a escala. De los 200 municipios restantes, 106 presentan rendimientos crecientes, infrautilizan los recursos. Los 94 municipios restantes que presentan ineficiencia de escala es debida a una dimensión superior a la óptima, es decir, está utilizando más recursos de los necesarios para producir una cantidad determinada de output, lo que resulta en una pérdida de eficiencia. En base a los resultados la mayoría de las unidades ineficientes presentan rendimientos crecientes a escala, lo que implica que los municipios alcanzarían la

eficiencia si la dimensión del gasto del municipio aumentara. Esa mejora de eficiencia podría producirse a través de la fusión de municipios o de la colaboración para la prestación del servicio que permitiría aprovechar las ventajas de las economías de escala.

También, en la Tabla 34, se advierte que el tipo de rendimiento que exhiben las diecisiete unidades eficientes que no alcanzan la escala óptima es rendimientos decrecientes a escala. Esto supone que tampoco esos municipios están operando en la escala óptima.

Tabla 35. Resumen Índices de eficiencia para el servicio de PJ

	Índice	Porcentaje
Eficiencia técnica (Modelo DEA-CRS orientación input)		
Eficiencia media	0,06	6
Unidades eficientes	2	0,99
Ineficiencia media	0,94	94
Unidades ineficientes	200	99,01
Eficiencia técnica (Modelo DEA-VRS orientación input)		
Eficiencia media	0,19	19
Unidades eficientes	19	9,4
Ineficiencia media	0,81	81
Unidades ineficientes	183	90,6
Eficiencia de escala = Eficiencia DEA-CRS / Eficiencia DEA-VRS orientación input		
Eficiencia media	0,316	31,6
Unidades eficientes	2	0,99
Ineficiencia media	0,684	68,4
Unidades ineficientes	200	99,01

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 35 se puede apreciar la baja eficiencia media que presentan los municipios analizados. La eficiencia técnica pura (DEA-VRS) muestra un nivel promedio de eficiencia de 0,19, es decir, de media los municipios españoles analizados podrían disminuir teóricamente el consumo de inputs en un 81% y continuar ofreciendo el mismo output si operarán con un tamaño óptimo e hicieran un uso responsable de sus recursos. Respecto a las unidades evaluadas, 19 municipios presentan eficiencia técnica pura, pero sólo 2 de los mismos muestran eficiencia a escala, y por tanto eficientes desde un punto de vista global. Las 19 unidades relativamente eficientes bajo DEA-VRS representan un 9,4% de los municipios analizados.

De las 202 unidades solamente dos son clasificadas como eficientes considerando rendimientos constantes a escala, es decir, el 99,01% de las unidades son consideradas por el modelo DEA-CRS ineficientes. Esos 200 municipios están operando por debajo de sus posibilidades. Las causas de la ineficiencia, según este modelo, pueden deberse a carencias técnicas o a desviaciones de la escala de producción óptima. No obstante, estas medidas radiales son orientativas dado su carácter determinista y el sesgo. Posteriormente, esas cuestiones serán tratadas adecuadamente.

La eficiencia de escala media es superior, asciende a 0,316, si bien la gran mayoría de unidades son ineficientes a escala (200 de las 202 unidades), están produciendo por encima o por debajo de su capacidad productiva (su eficiencia técnica global es inferior a su eficiencia técnica pura). La ineficiencia a escala promedio se eleva al 68,4%.

La ineficiencia media mostrada por los municipios en la provisión de parques y jardines es debida en un 81% a la inadecuada asignación de recursos por parte de los gestores públicos- ineficiencia técnica pura; y en un 68,4% al tamaño operativo- ineficiencia de escala.

6.3.2.1. Test de escala

Para evitar la subjetividad a la hora de seleccionar el tipo de rendimientos en el modelo utilizado para evaluar la eficiencia relativa de los municipios se aplica el test estadístico de Simar y Wilson (2011a). Para ello, se llevarán a cabo dos contrastes, y ambos se harán con 100 replicaciones bootstrap y α=0,05.

La Tabla 36 muestra los resultados del primer contraste, comprobándose que la hipótesis nula es rechazada por lo que la escala de los rendimientos no sería constante. En base al primer contraste se seleccionaría el modelo DEA-VRS.

Tabla 36. Contraste -1 de hipótesis sobre el tipo de rendimientos

Contraste 1	
H_0:	CRS (Rendimientos a Escala Constantes)
H_1:	VRS (Rendimientos a Escala Variables)
Valor del Estadístico 48 de Simar y Wilson (2011a)	-0,3801679
p-value48	0,04
H_0 reject48	**Cierto**
H_0 level48	-0,2611868
bw	cv
bw_value	3,27531

Fuente: Elaboración propia

Se resuelve el segundo contraste de hipótesis y se vuelve a rechazar la hipótesis nula, es decir, se rechaza el modelo DEA-NIRS. En base a los resultados ofrecidos por la Tabla 37, la escala sería variable.

Tabla 37. Contraste -2 de hipótesis sobre el tipo de rendimientos

Contraste 2	
H0:	NIRS (Rendimientos a Escala Decrecientes)
H1:	VRS (Rendimientos a Escala Variables)
Valor del Estadístico 48 de Simar y Wilson (2011a)	-0,05928007
p-value48	0,03
H_0 reject48	**Cierto**
H_0 level48	-0,0405797
bw	cv
bw_value	2,951168

Fuente: Elaboración propia

Ambos contrastes señalan una escala variable para los rendimientos, de forma que el modelo a aplicar para evaluar la eficiencia relativa de los municipios en la provisión de parques y jardines sería el DEA-VRS con una orientación hacia los inputs.

6.3.2.2. Corrección del sesgo

Para corregir el sesgo inherente, por construcción, de las estimaciones de eficiencia obtenidas mediante el estadístico DEA-VRS-input empleado, se utilizará la técnica bootstrap descrita por Simar y Wilson (2000b). A partir de las estimaciones bootstrap de las medidas de eficiencia se podrá estimar el sesgo con el que corregir las estimaciones iniciales, el error estándar y construir intervalos de confianza al 95%. Los resultados mostrados en la Tabla 38 se han obtenido empleando la librería FEAR diseñada por Wilson (2008) para el software R.

Tabla 38. Índices corregidos para el modelo DEA-VRS input para PJ

MUNICIPIO	$\hat{\delta}$	$\hat{sesgo}_B(\hat{\delta})$	$\hat{\hat{\delta}}$	r_i	$\hat{\sigma}^2$	LI	LS
Blanes	1	-0,5669	1,5669	4,3906	0,0244	1,2338	1,8136
Alfàs del Pi (l')	1	-0,8017	1,8017	14,2033	0,0150	1,4904	1,9423
Coria	1	-0,8172	1,8172	10,2356	0,0217	1,4137	1,9709
Teguise	1	-0,8335	1,8335	8,8122	0,0262	1,3600	1,9783
Baza	1	-0,8646	1,8646	13,4248	0,0185	1,4369	1,9694
Plasencia	1	-0,8662	1,8662	13,2351	0,0188	1,4167	1,9719
Suances	1	-0,8717	1,8717	11,1966	0,0226	1,4201	1,9868
S Miguel de Salinas	1	-0,8891	1,8891	12,7569	0,0206	1,4214	1,9862
Oleiros	1	-0,8927	1,8927	12,3991	0,0214	1,4252	1,9853
Níjar	1	-0,8968	1,8968	13,2238	0,0202	1,4421	1,9915
Archena	1	-0,8986	1,8986	11,7101	0,0229	1,4032	1,9938
Camargo	1	-0,8988	1,8988	11,1629	0,0241	1,3548	1,9937
Santomera	1	-0,8998	1,8998	12,9857	0,0207	1,4333	1,9895
Arroyo Encomienda	1	-0,9006	1,9006	12,0965	0,0223	1,4047	1,9937
Candelaria	1	-0,9006	1,9006	12,0653	0,0224	1,4060	1,9936
Cártama	1	-0,9021	1,9021	14,1648	0,0191	1,4675	1,9938
San Javier	1	-0,9029	1,9029	11,9668	0,0227	1,4269	1,9939
Torre del Campo	1	-0,9047	1,9047	12,56421	0,0217	1,4162	1,9934
Don Benito	1	-0,9063	1,9063	12,7403	0,0214	1,4304	1,9937

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 38 recoge las estimaciones para una selección de diecinueve municipios. Se observa de nuevo como la masa de valores unitarios desaparece declinando el valor de la eficiencia para todos los municipios una vez corregido el sesgo. Esa masa de municipios calificados con uno inicialmente es consecuencia de un artificio de las muestras finitas, que es necesario corregir pues si se considerase

el proceso subyacente real es improbable que existiese esa masa de probabilidad. El sesgo bootstrap estimado (tercera columna) de las estimaciones originales (segunda columna) es en todos los casos negativo, consecuencia del uso de coeficientes tipo Shephard (se han hecho las replicaciones recomendadas B=2.000). En la cuarta columna se muestran los coeficientes estimados corregidos para cada municipio clasificados de más a menos eficiencia relativa (es decir, de menos a más valor del índice) de acuerdo con el tipo de función distancia empleada. La quinta columna muestra el valor del estadístico r_i, que puede ser utilizado para valorar si la corrección del sesgo podría incrementar el error cuadrático medio. Finalmente, las tres últimas columnas muestran los datos para la inferencia estadística, esto es, la varianza estimada y los límites inferiores y superiores de los intervalos de confianza al 95% para cada medida de eficiencia.

Interpretando, por ejemplo, el primer municipio que aparece en la Tabla 38, Blanes se comprueba que es eficiente y considerando la estimación sesgada original presenta un índice corregido de $\hat{\hat{\delta}} = 1,5669$ Esto indica que, para un mismo nivel de outputs, podría reducir el empleo de recursos alrededor de un 57%. Específicamente, el intervalo de confianza al 95% de esta unidad indica que podría reducir sus inputs entre un 23% y un 81% aproximadamente.

6.3.2.3. Medidas SBM de Tone

Como en el capítulo anterior se va a calcular los índices de eficiencia no radiales de Tone (2001) que toman en consideración las holguras en inputs y outputs dentro de la medida de eficiencia obtenida. Permitirá comparar los resultados con los modelos DEA básicos.

Se empleará rendimientos variables puesto que ha sido la escala óptima seleccionada en el test de rendimientos.

Tabla 39. Índices de eficiencia SBM-VRS para PJ

PROVINCIA	MUNICIPIO	θ	slack.x_1	slack.y_1	slack.y_2	slack.y_3	slack.y_4
Alicante	Alfàs del Pi (l')	1	0	0	0	0	0
Murcia	Archena	1	0	0	0	0	0
Valladolid	Arroyo Encomienda	1	0	0	0	0	0
Granada	Baza	1	0	0	0	0	0
Girona	Blanes	1	0	0	0	0	0
Cantabria	Camargo	1	0	0	0	0	0
Sta. C. Tenerife	Candelaria	1	0	0	0	0	0
Málaga	Cártama	1	0	0	0	0	0
Cáceres	Coria	1	0	0	0	0	0
Badajoz	Don Benito	1	0	0	0	0	0
Almería	Níjar	1	0	0	0	0	0
Coruña, A	Oleiros	1	0	0	0	0	0
Cáceres	Plasencia	1	0	0	0	0	0
Murcia	San Javier	1	0	0	0	0	0
Alicante	S. Miguel de Salinas	1	0	0	0	0	0
Murcia	Santomera	1	0	0	0	0	0
Cantabria	Suances	1	0	0	0	0	0
Palmas, Las	Teguise	1	0	0	0	0	0
Jaén	Torre del Campo	1	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 39 se ofrecen los resultados obtenidos. Se puede observar que los diecinueve municipios eficientes identificados por el modelo SBM-VRS son los mismos que para DEA-VRS, las holguras tanto en input como en outputs son nulas. Esas unidades son 100% eficientes (Seiford y Thrall, 1990) ya que no sólo se sitúan sobre la frontera, sino que lo hacen dentro del subconjunto eficiente. Si se analiza la relación del input con los outputs ofrecidos en esos municipios se aprecia que son aquellos que tienen un mayor número de parques y jardines por euro gastado en la prestación de ese servicio.

Tabla 40. Selección de municipios ineficientes bajo SBM-VRS

	BCC	SBM	slack.x_1	slack.y_1	slack.y_2	slack.y_3	slack.y_4
mun015	0,0056	0,0013	176	11	3	11	15
mun047	0,0052	0,0022	193,9	10,18	3,068	5,818	0
mun048	0,2184	0,1243	77,72	20,45	0	6,475	0
mun064	0,0074	0,0012	185,6	18,09	2,159	5,909	0
mun180	0,8284	0,7575	9,185	0	0	0	32,47

Fuente: Elaboración propia

Si se observa la selección de municipios ineficientes que ofrece la Tabla 40, las holguras marcan el camino que deben de seguir estas unidades para alcanzar la frontera. Así, por ejemplo, mun048_Cambre (La Coruña) presenta un índice de 0,1243 (inferior respecto al que había obtenido bajo BCC en 0,0941 puntos) y holguras en el input y en dos outputs (número de parques urbanos y número de jardines) de tal forma que para alcanzar la frontera el modelo señala que debe reducir su input en 77,72€ y aumentar su output aproximadamente en 20 y 6 unidades, respectivamente.

En la siguiente tabla (Tabla 41) se puede apreciar los valores mínimos que toma el índice en cada modelo y la media de eficiencia. Se observa como la media empeora bajo SBM respecto a BCC.

Tabla 41. Comparación modelos DEA para PJ

	Mínimo	Media
CCR (DEA-CRS)	0,00177012	0,06057038
BCC (DEA-VRS)	0,00524476	0,190531564
SBM-Min	0,001220973	0,142173457

Fuente: Elaboración propia

En principio, este índice SBM-Min dirige a las unidades al punto en la frontera más alejado dentro de un rango, lo que implica los peores índices de eficiencia para cada unidad. Kaoru Tone (2015) realiza una variación de su modelo original, SBM-Max, que ofrece como referencia el punto fronterizo más próximo a la unidad calificada como ineficiente. Sin embargo, no se profundizará en ello puesto que queda fuera del contexto de esta investigación. No obstante, cualquier

interpretación de los índices de eficiencia, con independencia del modelo empleado, deber ser hecha con precaución (Tone, 2016).

Estos resultados dan robustez a los índices de eficiencia calculados en el apartado anterior que se utilizaran en el análisis de determinantes una vez hallamos corregido el sesgo inherente a los mismos mediante la aplicación de la técnica bootstrap de Simar y Wilson (2011b) aunque se van a mejorar sus propiedades.

6.3.3. Análisis de determinantes

El enfoque de dos etapas que se va a emplear permite calcular los coeficientes de eficiencia para cada municipio en la primera etapa de valoración, en la cual intervienen solamente los outputs e inputs discrecionales. En la segunda, se lleva a cabo una regresión truncada de los índices de eficiencia insesgados obtenidos en la primera etapa sobre el conjunto de los trece factores ambientales seleccionados. Esta última etapa es el objetivo del análisis empírico desarrollado.

El modelo para estimar es:

$$\begin{aligned}\hat{\hat{\delta}}_j = {} & \beta_0 + \beta_1 TBURDEN + \beta_2 INCOME + \beta_3 PDENSURB + \beta_4 HOUSEV + \beta_5 POLITICS \\ & + \beta_6 HERFINDAHL + \beta_7 POP65 + \beta_8 POP15_24 + \beta_9 SCHOOL + \beta_{10} UNEMPLOY \\ & + \beta_{11} INMIGR + \beta_{12} ININD + \beta_{13} ICOMM + \beta_{14} ITURIST + \beta_{15} IACTEC + \varepsilon_j\end{aligned} \tag{6.1}$$

6.3.3.1. Algoritmo II Simar y Wilson para parques y jardines

La aplicación de los cuatro primeros pasos del algoritmo lleva a la obtención de los coeficientes corregidos o insesgados, análogos a los calculados en el epígrafe anterior, pero no iguales, puesto que el primer bootstrap establecido en el algoritmo-II de SW no es exactamente el mismo que se establece en Simar y Wilson (1998, 2000b) aplicado anteriormente.

De nuevo, el objetivo de esta primera etapa es considerar la naturaleza estocástica del problema, corrigiendo los índices sesgados que permiten una masa de probabilidad con valor unitario que no sería vista si se pudiesen observar las medidas de eficiencia reales. Para tal fin, el primer procedimiento bootstrap establecido en SW y desarrollado en los primeros cuatro pasos del algoritmo

(estimación de $\hat{\delta}$, cálculo de la regresión truncada de los índices sesgados sobre las variables Z a partir de la cual se obtienen los $\hat{\beta}$ y realización primer bootstrap con $L_1 = 100$) permite corregir el sesgo en las estimaciones de eficiencia iniciales. La Tabla 42 muestra los resultados, para una selección de municipios, de esta primera etapa mostrando los coeficientes de eficiencia que serán regresados en la segunda etapa del procedimiento SW.

Otra vez se comprueba como en la columna de índices corregidos (cuarta) los valores iguales a la unidad desaparecen. Así, por ejemplo, en el municipio Blanes (Gerona), clasificado inicialmente como eficiente, su eficiencia declina pasando su índice a tomar un valor de 1,646. Ese índice se interpretaría señalando que el municipio, manteniendo el nivel de outputs, puede reducir sus inputs alrededor de un 64%.

Tabla 42. Resultados primera etapa del análisis SW para parques y jardines

MUNICIPIO	$\hat{\delta}$	$\widehat{sesgo}_B\left(\hat{\delta}\right)$	$\hat{\hat{\delta}}$	LI.-I.C.	LS.-I.C
Blanes	1	-0,6460	1,6460	1,4299	1,9887
Coria	1	-0,8549	1,8549	1,7416	2,3133
Alfàs del Pi (l')	1	-0,8633	1,8633	1,7622	2,1166
Teguise	1	-0,8646	1,8646	1,7497	2,2892
Plasencia	1	-0,8663	1,8663	1,7648	2,3069
Suances	1	-0,8819	1,8819	1,7771	2,3309
Arroyo de la Encomienda	1	-0,8925	1,8925	1,7983	2,4155
Oleiros	1	-0,9051	1,9051	1,8299	2,1788
Baza	1	-0,9055	1,9055	1,8359	2,1659
Archena	1	-0,9070	1,9070	1,8218	2,4968
Candelaria	1	-0,9163	1,9163	1,8413	2,4472
Don Benito	1	-0,9189	1,9189	1,8454	2,3673
San Javier	1	-0,9279	1,9279	1,8622	2,2739
Níjar	1	-0,9291	1,9291	1,8675	2,3419
Torre del Campo	1	-0,9331	1,9331	1,8743	2,2905
Santomera	1	-0,9341	1,9341	1,8761	2,4113
Camargo	1	-0,9374	1,9374	1,8809	2,2928
Cártama	1	-0,9403	1,9403	1,8892	2,1814
San Miguel de Salinas	1	-0,9459	1,9459	1,9024	2,1197

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se dispone de los índices corregidos o insesgados se puede utilizar el método de máxima verosimilitud para la estimación de la regresión truncada de $\hat{\hat{\delta}}$ sobre las variables Z descritas. A continuación, se aplica el segundo bootstrap del procedimiento de SW para superar los serios problemas de correlación de las estimaciones de eficiencia DEA, siendo el número de replicaciones aplicadas el recomendado $L_2 = 2.000$. La Tabla 43 ofrece los resultados de la segunda etapa de regresión, a partir de la cual se llevará a cabo la discusión del poder explicativo de los factores analizados y su impacto favorable o desfavorable sobre el nivel de eficiencia de los municipios.

El estudio de dichos factores puede ayudar a controlar la gestión local y a la propuesta de políticas eficaces que mejoren la actuación de los municipios en la prestación de este servicio.

Tabla 43. Resultados de la segunda etapa para PJ. Algoritmo-II

Análisis de Determinantes (Simar y Wilson 2007, 2011)

Variables	Coeficientes estimados $\hat{\hat{\beta}}$	Intervalos de Confianza al 95%		Influencia
TBURDEN	0,21883 (s)	-0,008843189	0,44750102	Desfavorable
INCOME	-49,84927(s)	-96,86674	-20,2380217	Favorable
PDENSURB	-0,0006047(s)	-0,01808633	0,01401882	Favorable
HOUSEV	-3,160416(s)	-7,692895	-0,75790889	Favorable
POLITICS	3,66305(s)	-46,45989	57,4637168	
HERFINDAHL	33,20133(s)	-7,03E+01	1,42E+02	Desfavorable
POP65	415,769(s)	23,29875	785,6583427	Desfavorable
POP15_24	-34,42302(s)	-689,873	625,6055678	Favorable
SCHOOL	368,9919(s)	-332,3975	1025,937447	Desfavorable
UNEMPLOY	-10,35198(s)	-28,73816	1,14669146	Favorable
INMIGR	90,99021(s)	4,827941	183,3562844	Desfavorable
ININD	6,976661(s)	3,048293	14,59364827	Desfavorable
ICOMM	8,625716(s)	3,444994	17,77036777	Desfavorable
ITURIST	-1,560273(s)	-6,016718	1,6456572	Favorable
IACTEC	-18,83001(s)	-4,04E+01	-8,68E+00	Favorable

(s) Indica que el parámetro estimado es significativo al 5%
(ns) Indica que el parámetro estimado no es significativo.

Fuente: Elaboración propia

El poder explicativo del modelo parece óptimo, debido a que todas las variables socioeconómicas, fiscales y políticas son estadísticamente significativas, lo que significa que la ineficiencia detectada en la primera etapa, no sólo es atribuible a la inadecuada gestión del gobierno local, sino que puede ser también consecuencia de las características del municipio.

En base a los resultados ofrecidos por el algoritmo II (ver Tabla 43), el efecto de INCOME, PDENSURB, HOUSEV, POP15_24, UNEMPLOY, ITURIST e IACTEC es positivo sobre la eficiencia. En cambio, a mayor valor de los factores TBURDEN, HERFINDAHL, PDENSURB, POP65, SCHOOL, INMIGR, ININD e ICOMM la eficiencia disminuye. La variable categórica dummy considerada, signo político del partido en el gobierno, presenta signo positivo que en base a la asignación de valores hecha inicialmente implicaría que los gobiernos locales conservadores presentan mayores niveles de eficiencia en la provisión de este servicio.

Se interpreta, en primer lugar, el bloque de variables determinantes asociadas con el nivel de riqueza del municipio y de sus habitantes, TBURDEN, INCOME y HOUSEV, las tres significativas, aunque no con igual signo. Mientras en TBURDEN se observa signo positivo, a más valor de la variable más ineficiente es la gestión del servicio, en las otras dos variables el signo es negativo indicando que la gestión de los recursos destinados a este servicio es más eficiente al aumentar el valor de las variables especificadas.

Unos habitantes que disponen de un alto poder adquisitivo con viviendas de alto valor catastral serán más exigentes con los administradores públicos y revindicarán que el entorno de sus viviendas sea más agradable y saludable. Además, el hecho de que el municipio proporcione espacios verdes de recreo y ocio aumenta el valor de las viviendas colindantes. Por lo que se diría que se alimentan recíprocamente, unas buenas infraestructuras proporcionadas por los municipios aumentan el valor catastral de las propiedades, y a su vez, un mayor valor catastral exige a los municipios mejores infraestructuras. Se concluye así que los ciudadanos con mayores ingresos exigirán un nivel superior en infraestructuras de este servicio, lo que obligará a los gestores a una mayor eficiencia en el uso de los recursos. Estas implicaciones que se derivan del análisis de los coeficientes obtenidos en la aplicación empírica no se ajustan a las suposiciones hechas a priori sobre el comportamiento de esas variables. Ha prevalecido el efecto de la demanda de servicios eficientes sobre el efecto derrochador.

Según muestra el signo de su coeficiente estimado, la influencia de la variable TBURDEN que representa la presión fiscal que sufren los ciudadanos de los municipios, sobre el nivel de eficiencia es desventajosa. Esta relación era la esperada en base a la justificación teórica presentada. La mayor disponibilidad de fondos por parte de los gestores públicos empeorará el desempeño de sus funciones de forma rigurosa y controlada, les puede llevar a derrochar fondos. Como indica la literatura sobre ilusión fiscal un alto nivel de impuestos puede llevar a un incremento del gasto local y en consecuencia asociarse con ineficiencia (Worthington y Dollery, 2000a). Igualmente, Pacheco et al. (2014) evidencian que una mayor capacidad fiscal incrementa los gastos corrientes disminuyendo la eficiencia. Ahora bien, como señala Kalb (2010) la mayor abundancia económica para gastar debería traducirse en una mayor oferta municipal de bienes y servicios públicos o de mayor calidad.

Al examinar la relación de la eficiencia en la gestión del servicio de parques y jardines respecto a la densidad de población se identifica un efecto positivo de la concentración de la población sobre la misma. Por tanto, parece confirmarse la posibilidad de economías de escala, otros estudios también obtienen estos resultados para otros servicios que necesitan cubrir a multitud de usuarios en un área concreta, por ejemplo, el servicio de recogida de basuras (Domberger et al., 1986; Dubin y Navarro, 1988; Lokaimen y Susiluoto, 2005; Dijkgraaf y Gradus, 2007). Por otro lado, la concentración favorece satisfacer a un mayor número de usuarios con un menor número de infraestructuras, aunque estas tengan que ser más extensas. Espacios de dimensiones más grandes permiten la mecanización de ciertos trabajos de mantenimiento y conservación de estas áreas y, por tanto, un ahorro en tiempo y personal que redunda en un menor coste (Instituto Cerdá, 2017). Además de identificarse esas economías de densidad, se confirma también que a mayor densidad de población, el espacio privado al aire libre de las viviendas será menor, por lo que la población demandará más y mejores infraestructuras para disfrutar de zonas verdes de expansión y convivencia.

Como se había hipotetizado, la variable HOUSEV y PDENSURB presentan el mismo efecto sobre la eficiencia, confirmándose que el mayor precio de las propiedades en zonas altamente pobladas ejerce una presión adicional -mayor demanda y control- sobre el gobierno local que le lleva a un comportamiento más eficiente.

Según Šťastná (2009) la influencia de los factores políticos varía dependiendo del área municipal analizada, y el efecto sobre la eficiencia de los factores políticos incluidos en el análisis, nivel de concentración de poder (HERFINDAHL) e ideología del partido político en el poder (POLITICS), apoyan esa afirmación, en tanto en cuanto difieren a la información que ofrecían en los servicios analizados anteriormente. A diferencia de las investigaciones desarrolladas que no encuentran resultados concluyentes respecto a la influencia de esta variable sobre la gestión local, en nuestro caso, ambas variables muestran una fuerte relación estadísticamente significativa con eficiencia. Herfindahl refleja que a mayor fortaleza política del gobierno local mayor ineficiencia presentan los municipios, el no tener que rendir cuentas ante nadie, ni la necesidad de llegar a acuerdos para gestionar el gasto perjudica el nivel de eficiencia que alcanzan los municipios. Respecto a la ideología política, los resultados parecen respaldar que un perfil conservador en el gobierno lleva a cabo un mejor uso de los recursos.

El conjunto de indicadores demográficos es estadísticamente significativo para la evaluación del servicio de parques y jardines.

Parece asociarse mayor porcentaje de habitantes jóvenes y menor de gente mayor en el municipio a índices de eficiencia más altos. Una potencial interpretación sería que el dinamismo que aportan la gente joven y el uso para actividades deportivas, recreativas y sociales requiere una actuación más responsable por parte del gobierno local, mientras que los municipios con población más envejecida, normalmente zonas rurales donde a este servicio se le presta menos atención puesto que en principio será menos demandado al tener espacio al aire libre disponible tanto privado como de forma natural y en línea con los hallazgos asociados a una menor densidad, relajará el uso de los recursos destinados a este servicio. Otro motivo para justificar el efecto positivo sobre la eficiencia del grupo de edad entre 19 y 24 años sería el mal uso que, en ocasiones, suelen dar a los parques y jardines -botelleos, actos de vandalismo en el mobiliario o vegetación- que derivará en altos costes de mantenimiento y reparación, todo esto supondría una presión sobre el ejecutivo para gestionar los escasos recursos de forma racional y eficiente.

Con relación a SCHOOL, los resultados del análisis no confirman la hipótesis de partida siendo el efecto de esta variable desfavorable para el grado de eficiencia alcanzado. Pacheco et al. (2014) señalan que hay una explicación potencial a este

hallazgo que es asociar el nivel de escolarización a la riqueza del municipio señalando que más recursos llevaría a la relajación de las restricciones presupuestarias incrementando la ineficiencia. Sin embargo, esa asociación entre riqueza y eficiencia no es respaldada por los resultados de este análisis. Lo que si se confirma es la afirmación expuesta en Sørensen (2014) acerca del ratio de dependencia y como la disminución de ingresos fiscales que provoca menor capacidad de producir servicios públicos y una sobrecarga del sistema disminuyendo la eficiencia.

La variable UNEMPLOY confirma las suposiciones hechas anteriormente sobre su impacto favorable en el nivel de eficiencia alcanzado por los municipios. Uno de los principales problemas de la economía y sociedad española en los últimos años es la elevada tasa de desempleo. Las administraciones públicas tienen que destinar grandes cantidades de recursos a satisfacer las necesidades básicas de este grupo de la sociedad, lo que implica unos presupuestos más ajustados para gastar en otros servicios, en principio, menos prioritarios. Esto puede haber llevado a un uso más eficiente de los recursos empleados en la prestación de este servicio, que explicaría los resultados obtenidos, donde una mayor tasa de desempleo es asociada a una mayor eficiencia en la provisión del mismo. El hallazgo refuerza la idea de la prevalencia del "efecto preferente" (menor demanda de servicios y de alta calidad) encontrada por otros autores como Geys et al. (2010), Kalb (2010), Kalb et al. (2012), Balaguer-Coll et al. (2013), Lampe et al. (2015) y Narbón-Perpiñan et al. (2020). Igualmente, esta variable podría interpretarse como un indicador del bienestar social (Pacione, 2003), en tal caso, la percepción de los habitantes de un municipio que presente alta tasa de desempleo sobre su calidad de vida será mala, el gestor puede contribuir a mejorar esa visión transmitiendo buena gestión en la prestación del servicio a través de la arquitectura paisajística y la disposición del espacio público (ofrecer más zonas verdes) lo que le favorecerá de cara a la reelección.

En cambio, INMIGR presenta el efecto contrario a la variable anterior. Un mayor porcentaje de población extranjera residiendo en el municipio penaliza el grado de eficiencia alcanzado por ese municipio. En este caso, se corrobora la premisa establecida en Loikkanen et al. (2011) sobre la debilidad económica que este hecho representa.

Por último, el estudio del efecto sobre la eficiencia de los índices económicos nos revela que a mayor índice de actividad industrial y comercial la ineficiencia del servicio aumenta, mientras que el nivel de eficiencia relativa mejora conforme el índice turístico y de actividad económica se incrementa.

Otros autores han encontrado ese efecto desfavorable de la actividad industrial sobre el municipio derivado del incremento en los ingresos por impuestos (Balaguer-Coll et al., 2013), en nuestro caso esta idea viene reforzada por la interpretación de la variable TBURDEN. Mientras que Sung (2007) encuentra que más establecimientos comerciales requieren más esfuerzo y tiempo por parte de los trabajadores públicos.

Respecto al índice turístico, resultados similares son alcanzados por diversos estudios (Giménez y Prior, 2007; Pérez-López et al, 2015; Cordero et al., 2017b). Este servicio tiene repercusiones sobre la actividad turística, atraen turismo, incluso si la calidad de las infraestructuras es elevada pueden crearse rutas turísticas por parques y jardines (Exceltur, 2017), por lo que el gestor puede estar interesado en ofrecer un buen servicio con la intención de impulsar el turismo y el crecimiento económico asociado. Los hallazgos respecto al índice de actividad económica confirman los encontrados en INCOME y HOUSEV; así, tres variables que representan la riqueza del municipio actúan al unísono y coherente con la asunción de que una población más acomodada será más vigilante con la gestión de los recursos garantizándose unos servicios de calidad acordes con su nivel de vida.

El análisis realizado, revela que los municipios con baja densidad poblacional, alto poder adquisitivo, una importante actividad turística y gobiernos de ideología conservadora, pero con un nivel reducido de concentración de poder, tienden a ser más eficientes. Por otra parte, los municipios cuya población juvenil tiene un mayor peso presentan mejores índices de eficiencia.

6.3.3.2. Condición de separabilidad

Para una primera etapa de estimación de la eficiencia y una segunda etapa de regresión significativa las condiciones previas deben de mantenerse. Por tanto, la condición de separabilidad debe ser testada. Si esta se cumple implica que las variables ambientales Z solamente afectarían a los índices de eficiencia, pero no a la frontera o a los niveles eficientes de inputs y outputs. Si las variables Z también

afectaran a la tecnología de producción, los resultados dados por el enfoque de dos etapas serían sesgados.

Como ya se ha visto, no existe consenso sobre cómo comprobar el cumplimiento de este supuesto. Siguiendo las indicaciones de Wilson en sus trabajos, se procede a comparar los parámetros del modelo calculados a partir de las medidas de eficiencia no condicionales (Simar y Wilson, 2007) y los parámetros basados en las medidas de eficiencia condicionales (Daraio y Simar, 2005). Si las discrepancias entre ambas medidas son leves, la condición de separabilidad sería un supuesto apoyado por los datos de la muestra analizada. La tabla 44 muestra los resultados de este procedimiento.

Tabla 44. Coeficientes estimados condicionales y no condicionales para PJ

Determinantes	Coeficientes estimados SW (2007)	Coeficientes estimados DS (2005)	Intervalos de Confianza al 95% SW (2007)	
TBURDEN	0,21883	0,1985743612	-0,0088	0,4475
INCOME	-49,84927	-43,7049992753	-96,8667	-20,2380
PDENSURB	-0,00060	-0,0005550514	-0,0181	0,0140
HOUSEV	-3,16042	-2,9918819322	-7,6929	-0,7579
POLITICS	3,66305	3,3606106646	-46,4599	57,4637
HERFINDAHL	33,20133	30,1346564375	-70,3159	141,5556
POP65	415,76900	389,9852843730	23,2988	785,6583
POP15_24	-34,42302	-30,6276711883	-689,8730	625,6056
SCHOOL	368,99190	364,0970173530	-332,3975	1025,9374
UNEMPLOY	-10,35198	-10,0138946899	-28,7382	1,1467
INMIGR	90,99021	84,4075696828	4,8279	183,3563
ININD	6,97666	5,3013309758	3,0483	14,5936
ICOMM	8,62572	7,3871602217	3,4450	17,7704
ITURIST	-1,56027	-1,4050962391	-6,0167	1,6457
IACTEC	-18,83001	-14,9987074083	-40,4239	-8,6758

Fuente: Elaboración propia

Las discrepancias entre ambos conjuntos de coeficientes no parecen importantes para este servicio, por lo que el supuesto de separabilidad no parece

ser rechazado, si bien la evidencia para su confirmación es más débil que en el servicio anterior.

Para verificar que efectivamente esas discrepancias no son estadísticamente significativas y la condición de separabilidad se cumple, se han resuelto tres pruebas con la idea de comprobar que ambas muestras de coeficientes, incondicionales y condicionales proceden de la misma población.

Las pruebas utilizadas para contrastar la igualdad de las muestras han sido: La prueba de Kolmorov-Smirnov para dos muestras independientes, la U de Mann-Whitney y un bootstrap para el test Kolmorov-Smirnov de para dos muestras.

En este caso las dos muestras, Coef.SW07 y Coef.DS05, que recogen los datos de los coeficientes estimados no condicionales y condicionales presentan un tamaño muestral de 15 observaciones. Los estadísticos descriptivos para las dos muestras se ofrecen en la Tabla 45.

Tabla 45. Estadísticos descriptivos muestras. PJ

Muestras	n	min	Cuartil 1	mediana	Cuartil 3	Máx
Coef.SW07	15	-49,8492	-10,352	0,2188	33,213	415,7769
Coef.DS05	15	-43,705	-10,014	0,1986	30,1346	389,9852

Fuente: Elaboración propia

El test K-S compara la distribución empírica de ambas muestras, si la diferencia no es significativamente grande se acepta la hipótesis nula. La tabla 46 presenta el contraste realizado mediante el test de Kolmorov-Smirnov para dos muestras. Se advierte que de forma clara se rechaza que las muestras de coeficientes, no condicionales y condicionales, procedan de poblaciones con función de distribución empírica diferente.

Tabla 46. Prueba Kolmorov-Smirnov en PJ

Contraste	
H0:	$F_{n_1}(x) = F_{n_2}(x)$
H1:	$F_{n_1}(x) <> F_{n_2}(x)$
Valor del Estadístico D	0,066
p-value	1
Rechazo H0	**Falso**
Z (valor crítico)	0,182574

Fuente: Elaboración propia

Se comprueba que el valor del estadístico K-S (D) obtenido es inferior al valor crítico del estadístico Z; en consecuencia, se acepta la hipótesis nula, las funciones de distribución de las muestras no son significativamente diferentes. El nivel de significación es de 1.

Tras realizar el contraste de Mann- Whitney se llega a la misma conclusión, las dos muestras proceden de la misma población. Como ya parece deducirse de los datos ofrecidos en la Tabla 47, los importes que toman los coeficientes de cada una de las muestras no son muy diferentes ya que el rango medio es semejante para ambas, es decir, a priori se percibe cierta propensión a aceptarse la hipótesis nula.

Tabla 47. Tabla de rangos en la muestra global. PJ

	n	Rango promedio	Suma de rangos (R_i)
Coef.SW07	15	15,5333	233
Coef.DS05	15	15,4667	232

Fuente: Elaboración propia

Queda patente a través de la información contenida en la Tabla 48 que el valor del estadístico U es muy superior al valor tipificado Z, por ello se acepta la hipótesis nula planteada.

Tabla 48. Prueba de Mann-Whitney. PJ

Contraste	
H0:	$F_{n_1}(x) = F_{n_2}(x)$
H1:	$F_{n_1}(x) <> F_{n_2}(x)$
Valor del Estadístico U	113
p-value	1
Asymp. p-value	1
Rechazo H0	**Falso**
Z (valor crítico)	0

Fuente: Elaboración propia

Al nivel de significación establecido (0,05) las dos distribuciones no son significativamente diferentes. El p-value es mayor a 0,05.

Tabla 49. Prueba bootsatrap Kolmorov-Smirnov. PJ

Contraste	
H0:	$F^*_{n_1}(x) = F^*_{n_2}(x)$
H1:	$F^*_{n_1}(x) <> F^*_{n_2}(x)$
Valor del Estadístico D	0,6667
p-value	1
rechazoH0	**Falso**

Fuente: Elaboración propia

Por último, se realiza el bootstrap para la prueba de Kolmorov-Smirnov para dos muestras. La tabla 49 muestra los resultados del botstrap K-S, confirmándose las conclusiones a las que se ha llegado en las dos pruebas anteriores.

Por tanto, en esta aplicación empírica, se sustenta la aplicación del modelo de dos etapas propuesto por Simar y Wilson (2007) al constatarse el cumplimiento de la condición de separabilidad.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

La búsqueda de eficiencia en el sector público en general, y en el local en particular, ha venido precedida de momentos de crisis profundos. Así, bajo la filosofía de la Nueva Gestión Pública, basada en mecanismos de mercado, que supuso una auténtica revolución en el paradigma del sector público, se iniciaron varias reformas. El objetivo era mejorar la eficiencia en la gestión de los servicios públicos. Las reformas iniciadas con la última crisis económica se rigen aún hoy por muchos de esos principios. Evaluar su validez, así como detectar posibles causas de ineficiencia en las que incidir, depende en gran medida de la posibilidad de evaluar el desempeño de las entidades locales. La existencia de distintas propuestas metodológicas en la literatura ha hecho necesario realizar un análisis de las mismas desde una perspectiva teórica, con el fin de identificar las principales ventajas e inconvenientes de cada una de ellas. Dadas sus características, el DEA se convierte en una opción apropiada para el objetivo propuesto.

La eficiencia promedio hallada en los dos servicios estudiados es muy reducida, tanto si se consideran rendimientos constantes a escala como variables. En todos los servicios, una gran proporción de unidades opera por debajo del tamaño de escala óptimo.

No obstante, nuestro objetivo no era construir índices de eficiencia para elaborar un ranking de unidades más o menos eficientes, sino identificar las causas que determinan los niveles de (in)eficiencia de los municipios en la provisión de dos servicios públicos municipales: el alumbrado y el de parques y jardines. Así, en el capítulo 3 se han presentado teóricamente las alternativas para el tratamiento de los factores que caracterizan el entorno operativo de los municipios.

Con el fin de investigar la relación entre la eficiencia y otros factores que caracterizan el entorno socioeconómico y político de los gobiernos locales en la prestación de servicios, se han seleccionado cinco grupos de factores y se ha observado que todos ellos están estadísticamente relacionados.

La capacidad financiera del municipio se ha medido en función de los ingresos de que dispone a través del nivel de ingresos tributarios del presupuesto liquidado de la entidad local. Se evidencia que una elevada recaudación impositiva

aumentará la capacidad financiera del municipio, lo que inducirá a los gestores municipales a comportarse de manera ineficiente en la administración de los recursos. Esta conclusión está en línea con las teorías académicas clásicas, como la teoría de la elección pública (Public Choice Theory) y la ley de Parkinson. Estas teorías postulan, respectivamente, que los agentes tienden a maximizar sus propios intereses (favorecer su imagen pública, su poder, sus ideologías o grupos de interés) y que, en un contexto de recursos abundantes, se tiende a incrementar la burocracia y el derroche, dado que no existe una necesidad inmediata de un comportamiento eficiente que controle los costes y maximice la productividad. Esta conclusión también está en línea con otras investigaciones llevadas a cabo en este ámbito.

Otro grupo de factores que se han analizado es el que se asocia al nivel de riqueza del municipio. En este sentido, se investiga el impacto del nivel de renta per cápita, que en ambos servicios muestra un efecto positivo sobre la eficiencia. Esto indica que un mayor nivel económico motiva a los ciudadanos a controlar más exhaustivamente la gestión de los recursos obtenidos a través de impuestos y a exigir una mejor calidad de los servicios. Este hecho, unido a que, en este contexto, suele exigirse mayor transparencia en las acciones, mayor competencia electoral e incentivos reputacionales para el gestor, conlleva que el administrador local persiga garantizar la satisfacción ciudadana tomando decisiones responsables que optimicen los recursos disponibles. En cambio, la otra variable asociada al nivel de riqueza, el valor catastral de las viviendas del municipio, presenta un comportamiento dispar en cada uno de los servicios analizados. Mientras que en el alumbrado público su impacto sobre la eficiencia es desfavorable, lo que implica que una menor presión financiera para el municipio relaja el comportamiento eficiente del gobierno local. En el servicio de parques y jardines, el efecto dominante es que el elevado valor catastral de las viviendas implica ciudadanos más exigentes, informados e involucrados en los asuntos públicos, que tienden a ejercer un control más riguroso sobre el uso de sus impuestos. Esto conlleva que el administrador local persiga garantizar la satisfacción ciudadana tomando decisiones responsables que optimicen los recursos disponibles.

El hecho de que estos dos primeros grupos de factores analizados presenten efectos contrapuestos, incluso cuando ambos muestran la fortaleza financiera de un municipio en términos de ingresos fiscales y poder adquisitivo de sus

ciudadanos, se debe a que generan incentivos mixtos. Por un lado, un alto nivel de renta puede generar una mayor vigilancia y demandas de calidad y eficiencia; sin embargo, por otro lado, la abundancia de recursos fiscales puede diluir las presiones hacia la optimización, creando un contexto en el que los gestores adopten comportamientos contradictorios según el área o la percepción de presión en cada situación. Estos resultados señalan que el impacto del nivel económico en la prestación de servicios dependerá del área que se someta a estudio y de las características asociadas a cada una.

El tercer grupo de factores analizado ha sido aquellos que representan aspectos sociodemográficos de la población.

La densidad de población influye en los servicios analizados, pero en sentidos opuestos. En cuanto al alumbrado público, una mayor densidad de población en el área urbana complica las labores de mantenimiento, requiere infraestructuras más extensas y complejas y se traduce en una mayor demanda de alumbrado debido al elevado número de residentes, comercios y actividades nocturnas. Estos factores parecen afectar negativamente a la eficiencia en la prestación del servicio. En cuanto a parques y jardines, el hecho de que la población se concentre en zonas urbanas propicia economías de densidad que favorecen la eficiencia.

El porcentaje de población mayor de 65 años y el porcentaje de escolares, analizados solamente en el servicio de parques y jardines, presentan un impacto negativo sobre los niveles de eficiencia municipal. Se confirma que un alto grado de población dependiente, que se traduce en menos contribuyentes y, por tanto, en menos recaudación, y en una mayor demanda del servicio, provocará desajustes financieros y operativos que llevarán a una menor eficiencia en la asignación de recursos. En cambio, el impacto de la variable «porcentaje de población entre 15 y 24 años» es favorable, puesto que podría incentivar una gestión más eficiente que permita adecuar estos espacios al aire libre al uso más intensivo en actividades (deportes, reuniones sociales, eventos) de esta población y garantizar su mantenimiento.

Las variables de desempleo e inmigración se han tenido en cuenta en el servicio de parques y jardines, y los resultados muestran que una mayor población de inmigrantes desincentiva la demanda de servicios de calidad y tiende a empeorar los niveles de eficiencia de los municipios. La tasa de desempleo, en

relación con la eficiencia de la provisión de este servicio, es favorable, y su signo se justifica en este caso por una gestión más racional de los recursos por parte de los gestores públicos, que deben destinar parte de los mismos a prestaciones más urgentes, como atender a los desempleados.

Respecto a los factores políticos, se ha confirmado en los dos servicios que la ideología sí afecta a la gestión. Si bien no hay consenso sobre un signo político frente a otro en los estudios previos, en esta investigación, para las dos áreas analizadas, los gobiernos conservadores favorecen la gestión eficiente. Sin embargo, no existe tal unanimidad en cuanto al otro factor político analizado, la fortaleza política, cuya influencia sobre el nivel de eficiencia varía en función del área municipal examinada. Así, la fragmentación política es desfavorable en el análisis de alumbrado público, puesto que la imposibilidad de ajustar los presupuestos convenientemente y las concesiones necesarias para formar gobierno repercuten negativamente en la eficiencia. En contraste con el área de parques y jardines, donde parece que la necesidad de transparencia, rendición de cuentas y control entre los distintos partidos en el poder, consecuencia de la debilidad del gobierno local, prima sobre otras repercusiones que pueden afectar al nivel de eficiencia.

Por último, el grupo de factores exógenos que consideran el perfil económico del municipio muestra, como se vio en la discusión de los resultados, efectos diversos y opuestos en cuanto al grado de eficiencia de los municipios, según el área. Para el servicio de alumbrado público, mayores niveles de actividad comercial y turística perjudican el desempeño del servicio, que solo se ve incentivado en el caso de una intensa actividad industrial. En cuanto al servicio de parques y jardines, un alto índice turístico favorece la administración responsable de los recursos. Además, en el índice de actividad económica global, presentan incidencia de signo contrario sobre la eficiencia de cada uno de los servicios.

Los determinantes señalados proporcionan una guía estratégica a los gestores públicos sobre qué variables deben considerar a la hora de analizar sus ineficiencias y qué políticas y acciones deben adoptar para mejorar la prestación del servicio. Si se tienen en cuenta los resultados de forma global, destaca la cada vez mayor importancia que el contribuyente da al uso de sus recursos y a la obtención de unos servicios públicos de calidad, lo que inevitablemente presiona al gestor-político a gestionar los recursos disponibles de forma más eficiente.

Se pueden identificar dos rasgos que limitan esta investigación. En primer lugar, la selección de variables se ha visto en ocasiones limitada por la disponibilidad de datos, lo que ha impedido encontrar causas de (in)eficiencia añadidas a las incluidas.

En segundo lugar, un enfoque de dos etapas se basa en la satisfacción de las condiciones previas, en la libre disponibilidad de inputs y outputs, y en la separabilidad, para lograr una primera etapa con una interpretación económica significativa, y una segunda etapa también significativa. En este sentido, nuestro estudio ha aplicado el modelo de dos etapas de Simar y Wilson (2007) que, mediante un doble procedimiento bootstrap, consigue convenientemente los dos objetivos. No obstante, como señalan los propios autores, la condición de separabilidad sigue siendo aún hoy un supuesto restrictivo que debe ser testado (Simar y Wilson, 2015). Se ha comparado el resultado de las medidas incondicionales y condicionales para comprobar el cumplimiento de esta suposición, comprobándose que nuestros resultados y las conclusiones que de ellos se derivan son robustos. En este sentido, los trabajos de Daraio et al. (2018) y Simar y Wilson (2020), en los que plantean una prueba formal para contrastar esta asunción basado en el Teorema Central del Límite, constituyen un referente para futuras investigaciones en las que se intentará solucionar esta limitación.

Las líneas de investigación futuras abarcarán dos vertientes. A nivel metodológico, se avanzará para superar las limitaciones señaladas en el párrafo anterior.

A nivel de aplicaciones, sería interesante repetir el análisis con datos de un período de tiempo más largo, lo que permitiría identificar la evolución y las tendencias en la prestación de servicios públicos. También sería interesante investigar algún procedimiento de agrupación de variables relativas a varios servicios con el objetivo de obtener un indicador de eficiencia global de los municipios españoles, si bien esto requeriría el respaldo de un proyecto de investigación nacional. Asimismo, el desarrollo de un procedimiento de actuación para corregir las desviaciones a partir de un umbral de eficiencia consensuado constituiría un avance significativo en el compromiso ineludible de los municipios de alcanzar la eficiencia en la gestión de los recursos, si este fuese vinculante desde el punto de vista institucional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abizadeh, S., y Gray, J. (1993). Provincial government spending in Canada; an empirical analysis international. *Applied Economics, 7*(1), 69-90.

Afonso, A., y Fernades, S. (2006). Measuring local government spending efficiency: evidence for the Lisbon region. *Regional Studies*, *40*(1), 39-53.

Afonso, A. y Fernades, S. (2008). Assessing and explaining the relative efficiency of Local government. *Journal of Socio-Economics*, 37, 1946–1979.

Afonso, A., y Venâncio, A. (2020). Local territorial reform and regional spending efficiency. *Local Government Studies,* 46(6), 888-910.

Afriat, S.N. (1972). Efficiency estimation of production functions. *International Economics Review*, 13 (3), 568-598.

Agasisti, T., Dal Bianco, A., y Griffini, M. (2016). The public sector efficiency in Italy: The case of Lombardy municipalities in the provision of the essential public services. *Economia pubblica*, 59-84.

Ahmad, I. A., y Li, Q. (1997). Testing independence by nonparametric Kernel method. *Statistic and Probability Letters*, *34*(2), 331-210.

Aiello, F., y Bonanno, G. (2019). Explaining Differences In Efficiency: A Meta-Study on Local Government Literature. *Journal of Economic Surveys*, 33(3), 999-1027.

Aigner, D., y Chus, S. (1968). On estimating the industry production function. *American Economic Review,* 58, 826-839.

Aigner, D., Lovell, C.A.K., y Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic production function models. *Journal of Econometrics*, 6, 21-37.

Albi, E. (1992). Evaluación de la eficiencia pública. El control de la eficiencia del sector público. *Hacienda Pública Española*, 120, 299-319.

Ali, A.I., y Seiford, L.M. (1993). The mathematical programming aproach to efficiency analysis. En H. Fried, C. Lovell y S. Schmidt (eds.), *The Mesurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications (*pp. 120-159). Nueva York: Oxford University Press.

Allen, R., y Thanassoulis, E. (2004). Improving envelopment in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, *154*(2), 363-379.

Álvarez Pinilla, A. (2001). Concepto y medición de la eficiencia productiva. En *La Medición de la Eficiencia y la Productividad* (pp. 19-38). Madrid: Editorial Pirámide.

Ancarani, A., y Capaldo, G. (2001). Management of standardized public services: a comprehensive approach to quality assessment. *Managing Service Quality*, *11*(5), 331–341.

Andersen, P., y Petersen, N. C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*, *39*(10), 1.261-1.264.

Andrews, D. F., y Pregibon, D. (1978). Finding the outliers that matter. *Journal of the Royal Statistical Society*. Series B (Methodological), *40*(1), 85-93.

Apon, A. W., Ngo, L. B., Payne, M. E., y Wilson, P. W. (2014). Assessing the effect of high performance computing capabilities on academic research output. *Empirical Economics*, *48*(1), 283-312.

Asatryan, Z., y De Witte, K. (2015). Direct democracy and local government efficiency. *European Journal of Political Economy*, 39, 58-66.

Ashworth, J., Geys, B., y Heyndels, B. (2005). Government weakness and local public debt development in Flemish municipalities. *International Tax and Public Finance*, *12*(4), 395-422.

Ashworth, J., Geys, B., Heyndels, B., y Wille, F. (2006). Political competition and local government performance: evidence from Flemish municipalities. *In annual meeting of the European public choice society, Turku*.

Ashworth, B., Geys, B., Heyndels, B. y Wille, F. (2014) Competition in the political arena and local government performance., *Applied economics,* 46, 19, 2264-2276.

Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas- AECA (1997). *Indicadores de gestión para las entidades públicas.* Documento nº16, Serie de principios de Contabilidad de Gestión (2a ed.). Madrid.

Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas (AECA) (2004). *Un Sistema de Indicadores de Gestión para los Ayuntamientos*. AECA, Madrid.

Athanassopoulos, A. D. (1998). Decision support for target-based resource allocation of public services in multiunit and multilevel systems. *Management Science, 44*(2), 173–189.

Athanassopoulos, A. D., y Triantis, K. (1998). Assessing aggregate cost efficiency and the related policy implications for Greek local municipalities. *Infor*, 36, 66–83.

Bădin, L., Daraio, C., y Simar, L. (2010). Optimal bandwidth selection for conditional efficiency measures: a data-driven approach. *European journal of operational research*, 201(2), 633-640.

Badin, L., Daraio, C. y Simar, L. (2012). How to measure the impact of environmental factors in a nonparametric production model? *European Journal of operational Research,* 223, 818-833.

Badin, L., Daraio, C., y Simar, L. (2014). Explaining inefficiency in nonparametric production models: the state of the art. *Annals of Operations Research*, *214*(1), 5-3.

Bădin, L., Daraio, C., y Simar, L., (2019). A bootstrap approach for bandwidth selection in estimating conditional efficiency measures. *European Journal of Operational Research*, 277(2), 784-797.

Balaguer-Coll, M.T. (2004). La eficiencia en las administraciones locales ante diferentes medidas de output. *Hacienda Pública Española*, 170, 37-58.

Balaguer-Coll, M. T., Brun-Martos, M. I., Márquez-Ramos, L., y Prior, D. (2019). Local government efficiency: Determinants and spatial interdependence. *Applied Economics,* 51(14), 1478-1494.

Balaguer-Coll, M. T., Narbón-Perpiñá, I., Peiró-Palomino, J., y Tortosa-Ausina, E. (2020). Quality of government and economic growth at the municipal level: Evidence from Spain. Journal of Regional Science.

Balaguer-Coll, M.T., y Prior, D. (2009). Short- and long-term evaluation of efficiency and quality. An application to Spanish municipalities. *Applied Economics*, *41*(23), 2991-3002

Balaguer-Coll, M.T., Prior, D., y Tortosa-Ausina, E. (2007). On the determinants of local government performance: A two-stage nonparametric approach. *European Economic Review, 51*(2), 425-451.

Balaguer-Coll, M.T., Prior, D. y Tortosa-Ausina, E. (2010). Decentralization and efficiency of local government. *The Annals of Regional Science, 45*(3), 571-601.

Balaguer-Coll, M. T., Prior, D., y Tortosa-Ausina, E. (2013). Output complexity, environmental conditions, and the efficiency of municipalities. *Journal of Productivity Analysis*, *39*(3), 303-324.

Balaguer-Coll, M. T., Prior-Jiménez, D., y Vela-Bargues, J. M. (2002). Efficiency and quality in local government management: The case of Spanish local authorities. , Document de Treball, núm. 2, Universidad Autónoma de Barcelona.

Banker, R. D. (1984). Estimating most productive scale size using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, *17*(1), 35-44

Banker, R. D. (1993). Maximum likelihood, consistency and data envelopment analysis: a statistical foundation. *Management Science*, *39*(10), 1265-1273

Banker, R. D. (1996). Hypothesis test using data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis, 7*(2-3), 139-159.

Banker, R. D., Bardhan, H., y Cooper, W. W. (1996a).A note on returns to scale in DEA. *European Journal of Operational Research*, *88*(3), 583-585.

Banker, R. D., Chang, H., y Cooper, W. W. (1996b). Equivalence and implementation of alternative methods for determining returns to scale in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, *89*(3), 473-481.

Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W., Swarts, J., y Thomas, D. A. (1989). An introduction to data envelopment analysis with some of their models and its uses. *Research in Governmental and Nonprofit Accounting*, 5, 125-163.

Banker, R. D., Charnes, A., y Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, *30*(9), 1078-1092.

Banker R. D., y Maindiratta A. (1992). Maximum likelihood estimation of monotone and concave production frontiers. *Journal of Productivity Analysis*, 3,401–415.

Banker, R. D., y Morey, R. C. (1986a). Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs. *Operations Research*, *34*(4), 513-521.

Banker, R. D., y Morey, R. C. (1986b). The use of categorical variables in data envelopment analysis. *Management Science*, *32*(12), 1613-1627.

Banker, R. D., y Natarajan, R. (2008). Evaluating contextual variables affecting productivity using Data Envelopment Analysis. *Operations Research*, *56*(1), 48-58.

Basílio, M., Pires, C., Borralho, C.,y dos Reis, J. P. (2020). Local government efficiency: is there anything new after Troika's intervention in Portugal? *Eurasian Economic Review,* 10, 309–332

Battese, G., y Coelli, T. (1995). A model for technical inefficiency effects in stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, 20, 325-332.

Beasley, J. (1995). Determining teaching and research efficiencies. *Journal of the Operational Research Society,* 46(4), 441–452.

Benito, B., y Bastida, F. (2008). Política y gestión financiera municipal. *Spanish Accounting Review*, *11*(2), 55-78.

Benito, B., Bastida. F., y García, J. A. (2010). Explaining differences in efficiency: an application to Spanish Municipalities. *Applied Economics*, *42*(5), 515-528.

Benito, B., Faura, Ú., Guillamón, M. D., y Ríos, A. M. (2019a). Empirical evidence for efficiency in provision of drinking water. *Journal of Water Resources Planning and Management,* 145(4), 06019002.

Benito, B., Faura, U., Guillamón, M. D., y Ríos, A. M. (2019b). The efficiency of public services in small municipalities: The case of drinking water supply. *Cities,* 93, 95-103.

Benito, B., Guillamón, M. D., y Martínez-Córdoba, P. J. (2020). Determinants of efficiency improvement in the Spanish public lighting sector. *Utilities Policy*, 64, 101026.

Benito, B., Solana, J. y Moreno, M. R. (2012). Assessing the efficiency of local entities in the provision of public sports facilities. *International Journal of Sport Finance,* 7, 46-72.

Benito, B., Solana, J., y Moreno, M. R. (2014). Efficiency in the provision of public municipal cultural facilities. *Lex Localis*, *12*(2), 163-191.

Bessent, A., Bessent, W., Elam, J., y Clark, T. (1988). Efficiency frontier determination by constrained facet analysis. *Journal of Operational Research Society*, 36, 785–796

Bessent, A., Bessent, W., Kennington, J., y Reagan, B. (1982). An application of mathematical programming to assess productivity in the Houston independent school district. *Management Science*, 28(12), 1355-1367.

Black, L., y Lovell, C. (2000). Performance assessment. En L. Black (ed.), *Public Provision and Performance: Contributions from Efficiency and Productivity Measurement* (pp. 3-23). Amsterdam: Elsevier.

Boles, J.N. (1971). The 1130 Farrell efficiency system-multiple products, multiple factors. *Giannini Foundation of Agricultural Economics* (Febrero).

Borge, L. E. (2005). Strong politicians, small deficits: Evidence from Norwegian local governments. *European Journal of Political Economy*, *21*(2), 325-344.

Borge, L. E., Falch, T., y Tovmo, P. (2008). Public sector efficiency: the Roles of political and budgetary institutions, fiscal capacity and democratic participation. *Public Choice*, 136, 475–495.

Borge, L. E., y Haraldsvik, M. (2009). Efficiency potencial and determinants of efficiency: an analysis of the care for the elderly sector in Norway. *International Tax and Public Finance*, *16*(4), 468-486.

Bosch, N., Espasa, M., y Mora, T. (2012). Citizen control and the efficiency of local public services. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 30(2), 248-266.

Bradford, D., Malt, R., y Oates, W. (1969). The rising cost of local public services. Some evidences and reflections. *National Tax Journal*, 22, 185-202.

Briec, W., Kerstens, K., y Vanden Eeckaut, P. (2004). Non-convex technologies and cost functions: definitions, duality and nonparametric tests of convexity. *Journal of Economics, 81*(2), 155–192

Bueno, E., y Morcillo, P. (1993). *La dirección eficiente*. Madrid: Pirámide.

Cachanosky, I. (2012). Eficiencia técnica, eficiencia económica y eficiencia dinámica. *Revista Europea de Economía Política*, IX (2), 51-80.

Cameron, S. (1989). Police cost function estimates for England and Wales. *Applied Economics*, *21*(10), 1.279-1.289.

Carr, S., Francis, M., Rivlin, L. y Stone, A. (1992). *Public Space*. Cambridge: Cambridge University Press.

Carr-Hill, R., y Stern, N. H. (1979). *Crime, the police and criminal statistics*. London: Academic Press.

Carvalho, P., y Marques, R. C. (2016). Computing economies of scope using robust partial frontier nonparametric methods. *Water*, 8(3), 82.

Cazals, C., Florens, J. P., y Simar, L. (2002). Nonparametric frontier estimation: a robust approach. *Journal of Econometrics*, *106*(1), 1-25.

Chambers, R. G., Chung, Y., y Färe, R. (1998). Profit, directional distance functions, and nerlovian efficiency. *Journal of Optimization Theory and Applications* 98, 351-364.

Charnes, A., Clark, C. T., Cooper, W. W., y Golany, B. (1985a). A development study of data envelopement analysis in measuring the efficiency of maintenance units in U.S. air force. *Annals of Operation Research*, 2, 95-112.

Charnes, A., y Cooper W. W. (1962). Programming with linear fractional functionals. *Naval Research Logistics Quarterly*, 9, 181-185

Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Seiford, L. M., y Stutz, J. (1985b). Foundation of Data Envelopment Analysis for pareto-koopmans efficient empirical production functions. *Journal of Econometrics*, *30*(1-2), 91-107.

Charnes, A., Cooper, W. W., Huang, Z. M., y Sun, D. B. (1990). Polyhedral cone-ratio DEA models with an illustrative application to large commercial Banks. *Journal of Econometrics*, 46, 73–91.

Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A., Monrey, R. C., y Roseau, J. (1980). Efficiency analysis with non-discretionary resources. Research Report CCS 379, University of Texas, Austin.

Charnes, A., Cooper, W. W., y Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, *2*(6), 429–444.

Charnes, A., Cooper, W. W., y Rhodes, E. (1981). Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through. *Management Science*, *27*(6), 668-697.

Charnes, A., Cooper, W. W., Seiford, L. y Stutz, J. (1982). A multiplicative model for effciency analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, *16*(5), 223-224.

Chen, Y., y Zhu, J. (2004). Measuring information technology's indirect impact on firm performance. *Information Technology & Management Journal*, *5*(1–2), 9–22.

Coelli, T. J. (1996). A guide to DEAP version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program. CEPA Working Paper 96/08.

Coelli, T. J. (1998). A multi-stage methodology for the solution of orientated DEA models. *Operation Research Letters*, 22, 143-149.

Coelli, T.J., y Perelman, S. (2001). Multi-output parametric frontier methods. En Alvarez Pinilla (coord.) *La Medición de la Eficiencia y la Productividad* (pp.113-137). Madrid: Editorial pirámide.

Coelli, T.J., Prasada Rao, D.S., y Battese, G.E. (1998). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Coelli, T. J., Rao, D., O'Donnell, C., y Battese, G. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis.* Berlin: Springer.

Coll, V., y Blasco, O. M. (2006). Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos. Introducción a los modelos básicos. España: Universidad de Valencia. Ed. digital a texto completo accesible en http://www.eumed.net/libros-gratis/2006c/197/

Cook, W. D., Chai, D., Doyle, J., y Green, R. H. (1998). Hierarchies and groups in DEA, *Journal of Productivity Analysis*, 10, 177–198.

Cook, W. D., Green, R., y Zhu, J. (2006). Dual role factors in DEA. *IIE Transactions.* 38, 1–11.

Cook, W. D., Hababou, M., y Tuenter, H. (2000). Multi-component efficiency measurement and shared inputs in data envelopment analysis: an application to sales and service performance in bank branches. *Journal of Productivity Analysis,* 14, 209–224.

Cook, W. D., Kress, M., y Seiford, L. M. (1993). On the use of ordinal data in data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 44, 133–140.

Cook, W. D., Kress, M., y Seiford, L. M., (1996). Data envelopment analysis in the presence of both quantitative and qualitative factors. *Journal of the Operational Research Society*, 47, 945–953.

Cook, W. D., y Seiford, L. M. (2009). Data envelopment analysis (DEA)–Thirty years on. *European Journal of Operational Research*, *192*(1), 1-17.

Cook, W. D., Tone, K., y Zhu, J. (2014). Data envelopment analysis: Prior to choosing a model. *Omega*, 44, 1-4.

Cook, W.D., y Zhu, J. (2007). Classifying inputs and outputs in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research, 180*(2), 692–699.

Cooper, W.W., Park, KS. y Pastor, JT. (1999a). RAM: A Range measure of inefficiency for use with additive models, and relations to other models and measures in DEA, *Journal of Productivity Analysis* 11, 5-42.

Cooper, W. W., Seiford, L. M., y Tone, K. (1999b). *Data envelopment analisys: a comprehensive text with uses, example applications, references and a DEA solver code.* Norwell, Mass.: Kluver Academic Publishers.

Cooper, W. W., Seiford, L. M., y Tone, K. (2007). *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. Springer Science & Business Media.

Cooper, W. W., Seiford, L. M., y Zhu, J. (2011). *Handbook on data envelopment analysis* (Vol. 164). Springer Science and Business Media.

Cordero Ferrera, J. M. (2006). Evaluación de la eficiencia con factores exógenos mediante el análisis envolvente de datos. Una aplicación a la educación secundaria en España. (Tesis Doctoral). Universidad de Extremadura, Badajoz.

Cordero Ferrera, J. M., Díaz Caro, C., y Polo Fernández, C. (2017a). Measuring efficiency in Catalan municipalities using a dynamic conditional model. *Revista de Economía Aplicada*, 25(75), 29-51.

Cordero, J. M., Pedraja-Chaparro, F., Pisaflores, E. C., y Polo, C. (2017b). Efficiency assessment of Portuguese municipalities using a conditional nonparametric approach. *Journal of Productivity Analysis*, 48(1), 1-24.

Cordero-Ferrera, J.M., Pedraja-Chaparro, F., y Santín-González, D. (2010). Alternative approaches to include exogenous variables in DEA measures: a comparison. *Journal of the Operational Research Society* 61, 574-584

Cordero, J. M., Polo, C., y Tzeremes, N. G. (2020). Evaluating the efficiency of municipalities in the presence of unobserved heterogeneity. *Journal of Productivity Analysis,* 53, 377-390.

Cuadrado-Ballesteros, B., García-Sánchez, I. M., y Prado-Lorenzo, J. M. (2013). Effect of modes of public services delivery on the efficiency of local governments: A two-stage approach. *Utilities Policy,* 26, 23-35.

Cuenca, A. (1994). Eficiencia técnica en los servicios de protección contra incendios. *Revista de Economía Aplicada*, 2, 86-109.

Curristine, T., Lonti, Z., y Joumard, I. (2007). Improving public sector efficiency: Changelles and opportunities. *OCDE Journal on Budgeting 7*(1), 1-41.

Cusack, T. R. (1997). Partisan politics and public finance: changes in public spending in the industrialized democracies 1955–1989. *Public Choice*, *918*(3-4), 375–95.

Da Cruz, N. F., y Marques, R. C. (2014). Revisiting the determinants of local government performance. *Omega*, 44, 91-103.

Daouia, A., Florens, J. P., y Simar, L. (2018). *Robustified expected maximum production frontiers* (No. 17-890). Toulouse School of Economics (TSE).

Daouia, A., Florens, J. P., y Simar, L. (2020). Robust frontier estimation from noisy data: a Tikhonov regularization approach. *Econometrics and Statistics*,14, 1-23.

Daouia, A., y Gijbels, I. (2011). Robustness and inference in nonparametric partial frontier modelling. *Journal of Econometrics,* 161, 147-165.

Daouia, A., y Ruiz-Gazen, A. (2006). Robust nonparametric frontier estimators: Qualitative robustness and influence function. *Statistica Sinica,* 16, 1233-1253.

Daouia, A., y Simar, L. (2005). Robust nonparametric estimators of monotone boundaries. *Journal of Multivariate Analysis*, 96(2), 311-331.

Daouia, A., y Simar, L. (2007). Nonparametric efficiency analysis: a multivariate conditional quantile approach. *Journal of Econometrics*, 140(2), 375-400.

Daouia, A., Simar, l., y Wilson, P.W. (2017). Measuring firm performance using nonparametric quantile-type distances. *Econometric Reviews*, 36 (1-3), 156-181.

Daraio, C., Kerstens, K.H., Nepomuceno, T.C.C., y Sickles, R. (2019). Productivity and efficiency analysis software: an exploratory bibliographical survey of the options. *Journal of Economic Surveys*, 33(1), 85-100.

Daraio, C., Kerstens, K.H., Nepomuceno, T.C.C., y Sickles, R. (2020). Empirical surveys of frontier applications: a meta-review. *International Transactions in Operational Research*, *27*(2), 709-738.

Daraio, C., y Simar, L. (2005). Introducing environmental variables in nonparametric frontier models: A probabilistic approach. *Journal of Productivity Analysis*, *24*(1), 93-121.

Daraio, C. y Simar, L. (2007a). *Advanced robust and nonparametric methods in efficiency analysis: Methodology and applications.* Springer Science & Business Media.

Daraio, C., y Simar, L. (2007b). Conditional nonparametric frontier models for convex and nonconvex technologies: a unifying approach. *Journal of Productivity Analysis*, *28*(1-2), 13-32.

Daraio, C. y Simar, L. (2022). Approximations and inference for nonparametric production frontiers, LEM Working Paper Series, 2022/14, Scuola Superiore Sant'Anna, Laboratory of Economics and Management (LEM), Pisa

Daraio, C., Simar, L., y Wilson, P. W. (2010). Testing whether two-stage estimation is meaningful in non-parametric models of production. Discussion Paper 1030, Institut de Statistique Biostatistique et Sciences

Actuarielles, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium.

Daraio, C., Simar, L. y Wilson, P.W. (2018), Central Limit Theorems for conditional efficiency measures and tests of the "separability" condition in nonparametric, two-stage models of production. *Econometrics Journal,* 21 (2), 170–191.

Daves, M., y Hayes, K. (1993). The demand for good government. *Review of Economics and Statistics*, 75, 148–152.

De Borger, B., y Kerstens, K. (1996a). Cost efficiency of Belgian local governments: a comparative analysis of FDH, DEA, and econometric approaches. *Regional Science and Urban Economics*, *26*(2), 145-160.

De Borger, B., y Kerstens, K. (1996b). Radial and nonradial measures of technical efficiency: an empirical illustration for Belgian local governments using and FDH reference technology. *Journal of Productivity Analysis*, 7, 41–62.

De Borger, B., y Kerstens, K. (2000). What is known about municipal efficiency: the Belgian case and beyond. En J. Blank (ed.), *Public Provision and Performance: Contributions from Efficiency and Productivity Measurement* (pp.299-330). Amsterdam: North-Holland.

De Borger, B., Kerstens, K., Moeseny, W. y Vanneste, J. (1994). Explaning differences in productive efficiency: an application to Belgian municipalities. *Public Choice*, *80*(3-4), 339-358.

De Sousa, C. (2003). Turning brownfields into Green space in the city of Toronto. *Landscape and Urban Planing*, 62, 191-198.

De Witte, K., y Kortelainen, M. (2013). What explains the performance of students in a heterogeneous environment? Conditional efficiency estimation with continuous and discrete environmental variables. *Applied Economics*, 45(17), 2401-2412.

Debrau, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica, 19*(3), 273-292.

Dekker, D., y Post, T. (2001). A cuasi-concave DEA model with an application for bank branch performance evaluation. *European Journal of Operational Research,* Elsevier *132*(2),-296-311.

Deprins, D., Simar, L., y Tulkens (1984). Measuring Labor-Efficiency in post offices. En M. Marc-hand, P. Pestieau y H. Tulkens (eds.), *The performance of enterprises: Concepts and measurement*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.

Dervaux, B., Kerstens, K., y Vanden Eeckaut, P., (1998). Radial and nonradial static efficiency decompositions: a focus on congestion measurement. *Transportation Research*, B, *32*(5), 299-312.

Díez-Ticio, A., y Mancebón, M. J. (2002). The efficiency of the Spanish police service: an application of the multiactivity DEA Model. *Applied Economics*, 34, 351-362.

Díez-Ticio, A., y Mancebón, M. J. (2003). Análisis de la eficiencia de las instituciones encargadas de la seguridad ciudadana. *Papeles de Economía Española*, 95, 306-319.

Dijkgraaf, E. y Gradus, R. H. J. M. (2007). Collusion in Dutch waste collection market. *Local Government Studies*, 33(4), 573-588.

D'Inverno, G., Carosi, L., y Ravagli, L. (2018). Global public spending efficiency in Tuscan municipalities. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 102-113.

Domberger, S., Meadowcroft, S., y Thompson, D. (1986). Competitive tendering and efficiency: The case of refuse collection. *Fiscal Studies*, 7, 69–87.

Drake, L., y Simper, R. (2003). The measurement of English and Welsh police force efficiency: a comparison of distance function models. *European Journal Operational Research*, *147*(1), 165–186.

Drake, L., y Simper, R. (2005). The measurement of police force efficiency: an assessment of UK Home Office Policy. *Contemporary Economic Policy*, 23, 465-482.

Dubin, J. A., y Navarro, P. (1988). How markets for impure public goods organize: the case of household refuse collection. *Journal of Law, Economic and Organization*, *4*(2), 217-241.

Dyson, R., Allen, R., Camanho, A., Podinovski, V., Sarrico, C., y Shale, E. (2001). Pitfalls and protocols in DEA. *European Journal of Operational Research, 132*(2), 245–259.

Dyson, R.G., y Thanassoulis, E. (1988). Reducing weight flexibility in DEA. *Journal of Operational Research Society, 39*(6), 563–576.

Efron, B. (1979). Bootstrap methods: another look at the jackknife. *The Annals of Stat*, *7*(1), 1-26.

Efron, B., y Tibshirami, R. J. (1993). *An introduction to the bootstrap*. London: Chapman and Hall.

El Mehdi, R., y Hafner, C. M. (2014). Local government efficiency: the case of Moroccan municipalities. *African Development Review*, 26(1), 88-101.

Emrouznejad, A., Parker, B. R., y Tavares, G. (2008). Evaluation of research in efficiency and productivity: a survey and analysis of the first 30 years of scholarly literature in DEA. *Socio-Economic Planning Sciences*, *42*(3), 151-157.

Emrouznejad, A., y Yang, G. L. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 4-8.

Emrouznejad, A., Yang, Gl., Khoveyni, M., y Michali, M. (2022). Data Envelopment Analysis: Recent Developments and Challenges. En: Salhi, S., Boylan, J. (eds) *The Palgrave Handbook of Operations Research* , 307-350.

Exceltur (2017). Destinos Urbanos. Urbantur 2016. Monitor de competitividad turística de los destinos urbanos españoles. Exceltur, mayo

Färe, R. (1975). Efficiency and the production function. *Zeitschrift fur Nationalökonomie*, 35, (3-4), 317-324.

Färe, R. (1988). *Fundamentals of production theory.* Berlin: Springer-Verlag.

Färe, R., y Grosskopf, S. (1994). Estimation of returns to scale using data envelopment analysis: a comment. *European Journal of Operational Research*, 79, 379-382.

Färe, R., y Grosskopf, S. (1996). *Intertemporal production frontiers: with dynamic DEA*. Boston, MA: Kluwer Academic.

Färe, R. y Grosskopf, S. (2000). Network dea. *Socio-economic Planning Sciences*, 34, 35-49.

Färe, R. y Grosskopf, S. (2004a). *Efficiency and productivity: new directions.* Boston, MA: Kluwer Academic Publishers.

Färe, R., y Grosskopf, S. (2004b). Modelling undesirable factors in efficiency evaluation: comment. *European Journal of Operational Research,* 157,242–245.

Färe, R., Grosskopf, S., y Logan, J. (1983a). The relative efficiency of Illinois public utilities. *Resource and Energy*, 5, 349-367.

Färe, R., Grosskopf, S., y Lovell, C.A.K. (1983b). The estructure of technical efficiency of production. *Scandinavian Journal of Economics*, 85, 181-190.

Färe, R., Grosskopf, S., y Lovell, C. A. K. (1985). *The measurement of efficiency of production*. Boston: Kluwer-Nijhoff Publishing.

Färe, R., Grosskopf, S., y Lovell, C. A. K. (1994). *Production frontiers.* Cambridge: University Press.

Färe, R., Grosskopf, S., y Margaritis, D. (2008). Productivity and efficiency: Malmquist and more. En H. Fried, C. Lovell y S. Schmidt (eds.), *The*

Measurement of Productive Efficiency (pp. 522-621). Oxford: Oxford University Press.

Färe, R., y Lovell, C.A.K. (1978). Measuring the technical efficiency of production. *Jounal of Economic Theory*, 19, 150-162.

Färe, R. y Lovell, C.A.K. (1981). Measuring the technical efficiency of production: reply. *Journal of Economic Theory*, 19, 1, 150-162.

Färe, R., y Whittaker, G. (1995). An intermediate input model of dairy production using complex survey data. *Journal of Agricultural Economics*, 46(2), 201–213.

Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, Series A, 120 (3), 253-281.

Farrell, M. J., y Fieldhouse, M. (1962). Estimating efficient productions functions under increasing returns to scale. *Journal of the Royal Statistical Society*, Series A: General, 125, 252-267.

Fernández Santos, Y., y Flórez López, R. (2006). Aplicación del modelo DEA en la gestión pública. Un análisis de la eficiencia de las capitales de provincia españolas. *Revista iberoamericana de contabilidad de gestión*, (7).

Ferreira, D. C., y Marques, R. C. (2017). A step forward on order-α robust nonparametric method: Inclusion of weight restrictions, convexity and non-variable returns to scale. *Operational Research*, 1-36.

Ferrier, G. D., y Hirschberg, J. G. (1997). Bootstrapping confidence intervals for linear programming efficiency scores: with an illustration using italian banking data. *Journal of Productivity Analysis*, 8, 19-33.

Florens, J. P., y Simar, L. (2005). Parametric approximations of nonparametric frontiers. *Journal of econometrics*, 124(1), 91-116.

Florens, J. P., Simar, L., y Van Keilegom, I. (2014). Frontier estimation in nonparametric location-scale models. *Journal of Econometrics*, 178, 456-470.

Florens, J.P., Simar, L. y Van Keilegom, I. (2019). Estimation of the boundary of a variable observed with symmetric error." *Journal of the American Statistical Association,* 1-35.

Førsund, F. R. (2013). Weight restrictions in DEA: misplaced emphasis. *Journal of Productivity Analysis*, 40, 271-283.

Førsund, F. R., y Jasen, E. S. (1977). On the estimating average and best practice homothetic production functions via cost functions. *International Economic Reiview*, 18, 463-476.

Førsund, F.R., Lovell, C.A.K., y Schimdt, P. (1980). A survey of frontier production functions and of their relationship to efficiency measurement. *Journal of Econometrics,* 13, 5-25.

Fox, K. J. (2001). *Efficiency in the public sector. Productivity and efficiency* (vol.1). Boston: Kluwer Academic Plublishers

Fried, H. O., y Lovell, C.A.K. (1996). Searching the Zeds, Working Papers presented at II Georgia Productivity Workshop.

Fried, H. O., Lovell, C.A.K., y Schmidt, S.S. (1993). *The measurement of productive efficiency.* New York: Oxford University Press.

Fried, H.O., Lovell, C.A.K., y Schmidt, S.S. (2008a). Efficiency and productivity. En H. Fried, C. Lovell y S. Schmidt, *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth* (pp. 3-92). Oxford: Oxford University Press.

Fried, H. O., Lovell, C.A.K., y Schmidt, S.S. (2008b). *The measurement of productive efficiency and productivity growth.* Oxford: Oxford University Press.

Fried, H.O., Lovell, C.A.K., Schmidt, S.S., y Yaisawarng, S. (2002). Accounting for environmental effects and statistical noise in Data Envelopment Analysis. *Journal of Productivity Analysis* 17, 157–174.

Fried, H.O., Schmidt, S.S., y Yaisawarng, S. (1999). Incorporating the operating environment into nonparametric measure of technical efficiency. *Journal of Productivity Analisys,* 12, 249-267.

Ganley, J. y Cubbin, J. (1992). *Public sector efficiency measurement.* Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

García-Sánchez, I.M. (2006). Efficiency measurement in Spanish local government: the case of municipal water services. *Review of Policy Research*,23, 355-371

García-Sánchez, I.M. (2007). La Nueva Gestión Pública: evolución y tendencias. *Presupuesto y Gasto Público*, 47,37-64

García-Sánchez, I.M. (2009). Measuring the efficiency of local police force. *European Journal Law Economics*, 27, 59-77

García-Valiñas, M. A., y Muñiz, M. A. (2007). Is DEA useful in the regulation of water utilities? A dynamic efficiency evaluation of water utilities. *Applied Economics*, 39 (2), 245–52.

Geys, B. (2006). Looking across borders: a test of spatial policy interdependence using local government efficiency ratings. *Journal of Urban Economics*, 60, 443–462.

Geys, B., Heinemann, F., y Kalb, A. (2010). Voter involvement, fiscal autonomy and public sector efficiency: Evidence from German municipalities. *European journal of political economy,* 26(2), 265-278.

Geys, B., Heinemann, F., y Kalb, A. (2013). Local government efficiency in German municipalities. *Raumforschung und Raumordnung,* 71(4), 283-293.

Geys, B., y Moesen W. (2009a). Exploring sources of local government technical Inefficiency: Evidence from Flemish Municipalities. *Public Finance and Management*, 9,1–29.

Geys, B. y Moesen W. (2009b). Measuring local government technical efficiency in Flemish municipalities: an application and comparison of FDH, DEA and econometric approaches. *Public Performance and Management Review*, 32, 489–504.

Gijbels, I., Mammen, E., Park, B.U., y Simar, L. (1999). On estimation of monotone and concave frontier functions. *Journal of the American Statistical Association* 94, 220-228.

Giménez, V.M. (2004). Un modelo FDH para la medida de la eficiencia en costes de los departamentos universitarios. *Hacienda Pública Española/Revista de Economía Pública,* 168 (1), 69-92.

Giménez, V. y Prior, D. (2003). Evaluación frontera de la eficiencia en costes. Aplicación a los municipios de Cataluña. *Papeles de Economía Española*, 95, 113-124.

Giménez, V. y Prior, D. (2007). Long and short-term cost efficiency frontier evaluation: evidence from Spanish Local Goverments. *Fiscal Studies*, *28*(1), 121-139.

Golany, B. y Roll, Y. (1993). Some extensión of techniques to handle nondiscretionary factors in data envelopment analysis. *The Journal of Productivity Analysis,* 4, 419-432.

Green, R., Doyle, J., y Cook, W.D. (1996). Efficiency bounds in dataenvelopment analysis. *European Journal of Operational Research,* 89, 482–490.

Greene, W.H. (1980). Maximun likelihood estimation of econometric frontier functions. *Journal of Econometrics*, 13 (1), 27-56.

Grosskopf, S. (1996). Statistical inference and nonparametric efficiency: A selective survey. *The Journal of Productivity Analysis,* 7, 161-176.

Grosskopf, S., y Hayes, K. (1993). Local public sector bureaucrats and their input choices. *Journal of Urban Economics*, 33, 151–166.

Grossman, P., Mavros, P., y Wassmer, R. (1999). Public sector technical inefficiency in large U.S. Cities. *Journal of Urban Economics*, 46, 278–299.

Gstach, D. (1998). Another approach to Data Envelopment Analysis in noisy environments: DEA +. *Journal Productivity Analysis* 9,161–176

Gyimah-Brempong, K. (1987). Elasticity for factor substitution in police agencies. *Journal of Business and Economics Statistics*, *5*(2), 257–65.

Gyimah-Brempong, K. (1989). Production of public safety: are socioeconomic characteristics of local communities important factors? *Journal of Applied Econometrics*, *4*(1), 57–71.

Hagen, T. P., y Vabo, S. I. (2005). Political characteristics, institutional procedures and fiscal performance: panel data analyses of Norwegian local governments, 1991–1998. *European Journal of Political Research*, *44*(1), 43–64.

Hall, P. y Simar, L. (2002). Estimating a changepoint, boundary or frontier in the presence of observation error. *Journal of the American Statistical Association*, 97 (458), 523–534.

Haug, P. (2008). Effects of "democratic control" on the efficiency of local public enterprises: empirical evidence for water suppliers in eastern Germany. *Public Finance and Management*, 8, 1–35.

Heald, D. (2003). Fiscal transparency: concepts, measurement and UK practice. *Public Administration*, *81*(4), 723-759.

Hirschberg, J., y Lloyd, P. (2002). Does the technology of foreign-invested enterprises spill over to other enterprises in China? An application of post-DEA bootstrap regression analysis. En P. Lloyd y X. G. Zang(eds.), *Modeling the Chinesse Economy.* London: Edward Elgar Press.

Hoff, A. (2007). Second stage DEA: comparison of approaches for modelling the DEA score. *European Journal of Operational Research*, *181*(1), 425-435.

Hood, C. (1991). A public management for all seasons? *Public Administration*, *69*(1), 3-19.

Hooper, W. D. (1965). Allocation efficiency in a traditional Indian agriculture. *Journal of Farm Economics*, 47, 611-624.

Hortas Rico, M. y Solé-Ollé, A (2010). Does urban sprawl increase the cost of providing local public services? Evidence from Spanish municipalities. *Urban Studies 47*(7), 1513-1540

Hughes P.M., y Edwards M.E. (2000). Leviathan vs. Lilliputian: a data envelopment analysis of government efficiency. *Journal of Regional Science, 40* (4), 649-669.

Hughes, O. (1994). *Public management and administration.* London: Macmillan Press Ltd.

Instituto Cerdá (2017). Hacia la eficiencia en la contratación de los servicios de jardinería de las entidades locales. Institut Cerdá

Intervención General de la Administración del Estado- IGAE (1997). El establecimiento de objetivos y la medición de resultados en el ámbito público. Madrid: MEH.

Jenkins, L., y Anderson, M. (2003). A multivariate statistical approach to reducing the number of variables in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, *147*(1), 51-61.

Jeong, S. O (2004). Asymptotic distribution of DEA efficiency scores. *Journal of the Korean Statistical Society*, 33, 449–458.

Jeong, S. O., y Park, B. U. (2006). Large sample approximation of the distribution for convex-hull estimators of boundaries. *Scandinavian Journal of Statistics*, 33, 139-151

Jeong, S. O., Park, B., y Simar, L. (2010). Nonparametric conditional efficiency measures: asymptotic properties. *Annals of Operations Research*, *173*(1), 105-122.

Kalb, A. (2010). *Public sector efficiency: an application to local governments in Germany*. Wiesbaden: Gabler Verlag.

Kalb, A., Geys, B., y Heinemann F. (2012). Value for Money? German local government efficiency in comparative perspective. *Applied Economics*, 44, 201-218.

Kalseth, J., y Rattsø, J. (1995). Spending and overspending in local government administration: A minimum requirement approach applied to Norway. *European Journal of Political Economy*, 11(2), 239-251.

Kalseth, J., y Rattsø, J. (1998). Political control of administrative spending: the case of local governments in Norway. *Economics and Politics*, 10, 63-83.

Kamakura, W.A. (1988). A note on the use of categorical variables in data envelopment analysis. *Management Science*, *34*(10), 1273–1276.

Karlaftis, M.G. (2004). A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems. *European Journal Operational Research*, *152*(2), 354–364.

Kerstens, K., y Vanden Eeckaut, P. (1995). Technical efficiency measures on DEA and FDH: a reconsideration of the axiomatic literatura. Core Discussion Paper 9513. Belgium: Université Catholique de Louvain.

Kittelsen, S. (1995). Monte Carlo simulations of DEA efficiency measures and hypothesis tests. Inusing data envelopment analysis to measure production efficiency in the public sector. Thesis for the degree of Dr. Polit at the Department of Economics, University of Oslo.

Kneip, A., Park, B. U., y Simar, L. (1998). A note on the convergence of nonparametric DEA estimators for production efficiency scores. *Econometric Theory*, *14*(6), 783-793.

Kneip, A., Simar, L., y Wilson, P. W. (2008). Asymptotics and consistent bootstraps for DEA estimators in nonparametric frontier models. *Econometric Theory*, *24*(6), 1663-1697.

Kneip, A., Simar, L., y Wilson, P. W. (2011). A computacionally efficient, consistent bootstrap for inference with non-parametric DEA estimators. *Computational Economics*, 38, 483-515.

Kneip, A., Simar, L., y Wilson, P.W. (2015). When bias kills the variance: central limit theorems for DEA and FDH efficiency scores. *Econometric Theory*, 31, 394-422.

Kneip, A., Simar, L., y Wilson, P. W. (2016). Testing hypotheses in nonparametric models of production. Journal of Business & Economic Statistics, 343, 435-456.

Koopmans, T.C. (1951). An analysis of production as an efficient combination of activities. En *Activity Analysis of Production and Allocation*. Cowles Commission for Research in Economics. Monograph Nº13. New York: John Wiley and Sons, Inc.

Korostelev, A., Simar, L., y Tsybakov A. B (1995a). Efficient estimation of monotone boundaries. *The Annals of Statistics*, 23,476–489

Korostelev, A., Simar, L., y Tsybakov A. B (1995b). On estimation of monotone and convex boundaries. *Publications de l´Institut de Statistique de l´Université de Paris XXXIX*, 1,3–18.

Kumbhakar, S., y Lovell, C. (2000). *Stochastic frontier analysis.* Cambridge: Cambridge University Press.

Kuosmanen, T. (2008). Representation theorem for convex nonparametric least squares. *The Econometrics Journal*, *11*(2), 308-325.

Kuosmanen, T., y Johnson, A. L. (2010). Data envelopment analysis as nonparametric least-squares regression. *Operations Research*, *58*(1), 149-160

Kuosmanen, T., y Johnson, A. (2017). Modeling joint production of multiple outputs in StoNED: Directional distance function approach. *European Journal of Operational Research*, 262(2), 792-801.

Kuosmanen, T., y Kortelainen, M. (2012). Stochastic non-smooth envelopment of data: semi-parametric frontier estimation subject to shape constraints. *Journal of Productivity Analysis*, *38*(1), 11-28.

Lampe, H. W., Hilgers, D., y Ihl, C. (2015). Does accrual accounting improve municipalities' efficiency? Evidence from Germany. *Applied Economics*, 47(41), 4349-4363.

Land, K.C., Lovell, C.A.K., y Thore, S.A. (1988). Chance-constrained efficiency analysis. Working Paper Departament de Economic, University of North Carolina. Chapel Hill, North Carolina.

Land, K.C., Lovell, C.A.K., y Thore, S A. (1993). Chance constrained data envelopment analysis. *Managerial and Decision Economics*, 14, 51-554.

Lau, L.J., y Yotopoulos, P.A. (1971). A test for relative efficiency and application to Indian agriculture. *American Economic Review 61*(1), 94-109.

Lener, S., y Poole, W. (1999). The economic benefits of parks and open space. The Trust for Public Land, Washington.

Lewis, B. D. (2018). Local government form in Indonesia: tax, expenditure, and efficiency effects. *Studies in Comparative International Development*, 53(1), 25-46.

Liu, J.S., Lu, L.Y., y Lu, W.M. (2016). Research fronts in data envelopment analysis. *Omega*, 58, 33-45.

Liu, J.S., Lu, L.Y., Lu, W.M. y Lin B.J.Y. (2013). Data envelopment analysis 1978-2010: A citation-based literature survey. *Omega-International Journal of Management Science* 41, 3-15.

Lo Storto, C. (2013). Evaluating technical efficiency of Italian major municipalities: a data envelopment analysis model. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 81, 346-350.

Lo Storto, C. (2016). The trade-off between cost efficiency and public service quality: A non-parametric frontier analysis of Italian major municipalities. *Cities*, 51, 52-63.

Loikkanen, H.A., y Susiluoto, I. (2005). Cost efficiency of Finnish municipalities in basic service provision 1994–2002. *Urban Public Economics Review*, 4, 39–64.

Loikkanen, H.A., Susiluoto, I., y Funk, M. (2011). The role of city managers and external variables in explaining efficiency differences of Finnish municipalities. Discussion Paper 312, Helsinki Centre for Economic Research (HECER), Universidad de Helsinki, Finlandia.

Losada Marrodán, C. (1997). Proceso de modernización de las administraciones públicas. Contenidos y estrategias de reforma. *Gestión y Análisis de Políticas Públicas*, 7, 95-101.

Lovell, C.A.K. (1993). Production frontiers and productive eficiency. En H. Fried, C. Lovell y S. Schmidt (eds.), *The Measurement of Productive Efficiency* (3-67). New York: Oxford University Press.

Lovell, C.A.K., y Schmidt, P. (1988) A comparative of alternative approaches to the measurement of productive efficiency. En A. Dogramaci y R. Färe (eds.), *Applications of Modern Production Theory Efficiency and Productivity.* Lancaster: Kluwer Academic.

Lowe, K. (1999). Ejemplos de auditoria operativa en el ámbito de la sanidad y de las obras públicas. En *Evaluación de la eficiencia en las administraciones*

públicas, Jornadas Técnica. X Aniversario del Tribunal Vasco de Cuentas Públicas.

Lyndsay, C. (1976). A theory of governement enterprise. *Journal of Political Economy*, 84, 1061-1077.

Marans, R. (2003). Understanding envioronmental quality through quality of life studies: the 2001 DAS and its use of subjetive and objetive indicators. *Landscape and Urban Planing*, 65, 73-83.

Marques, R. C., Kortt, M. A., y Dollery, B. (2015). Determining the optimal size of local government: the case of Tasmanian councils. *Australian Journal of Public Administration*, 74(2), 212-226.

Martínez-Córdoba, P. J., Raimo, N., Vitolla, F., y Benito, B. (2020). Achieving sustainable development goals. Efficiency in the Spanish clean water and sanitation sector. *Sustainability*, 12(7), 3015.

Matheson, A., y H.S. Kwon (2003). Public sector modernisation: a New Agenda. *OECD Journal on Budgeting*, *3*(1), 7-24

Mathieson, D., y Passell, P. (1976). Homicide and robbery in New York city: an economic model. *Journal of Legal Studies*, 6, 83–98.

Mcdonald, J. (2009). Using least squares and Tobit in second stage DEA efficiency analyses. *European Journal of Operational Research*, *197*(2), 792-798.

Meeusen, W., y Van den Broek, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review,* 18, 435-444.

Milán-García, J., Rueda-López, N., y de Pablo-Valenciano, J. (2021). Local government efficiency: reviewing determinants and setting new trends. *International Transactions in Operational Research*,0, 1–28. DOI: 10.1111/itor.13032

Monkam, N. F. (2014). Local municipality productive efficiency and its determinants in South Africa. *Development Southern Africa* 31(2), 275–298

Moore, A., Nolan, J., Segal, G.F., 2005. Putting out the trash measuring municipal service efficiency in US cities. *Urban Affairs Review* 41 (2), 237–259

Muñiz, M.A. (2001). Introducción de las variables de control en modelos DEA. En Alvarez Pinilla (coord.), *La Medición de la Eficiencia y la Productividad* (pp. 197-217). Madrid: Editorial Pirámide.

Muñiz, M.A. (2002). Separating managerial inefficiency and external conditions in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, *143*(3), 625-643.

Nakazawa, K. (2013). Cost inefficiency of municipalities after amalgamation. *Procedia Economics and Finance*, 5, 581-588.

Nakazawa, K. (2014). Does the method of amalgamation affect cost inefficiency of the new municipalities? *Open Journal of Applied Sciences*, 2014.

Narbón-Perpiñá, I., Arribas, I., Balaguer-Coll, M. T., y Tortosa-Ausina, E. (2020). Explaining local governments' cost efficiency: Controllable and uncontrollable factors. *Cities*, 100, 102665.

Narbón-Perpiñá, I., Balaguer-Coll, M. T., Petrović, M., y Tortosa-Ausina, E. (2019a). Which estimator to measure local governments' cost efficiency? The case of Spanish municipalities. *SERIEs,* 1-32.

Narbón-Perpiñá, I., Balaguer-Coll, M., y Tortosa-Ausina, E. (2019b). Evaluating local government performance in times of crisis. *Local Government Studies*, 45(1), 64-100.

Narbón-Perpiñá, I., y De Witte, K. (2018a). Local governments' efficiency: a systematic literature review—part I. *International Transactions in Operational Research*, 25(2), 431-468.

Narbón-Perpiñá, I., y De Witte, K. (2018b). Local governments' efficiency: a systematic literature review—part II. *International Transactions in Operational Research*, 25(4), 1107-1136.

Navarro, A. (1998). El control económico de la gestión municipal. Un modelo basado en indicadores. Sindicatura de Comptes, Valencia.

Nijkamp, P., y Suzuki, S. (2009). A generalized goals-achievement model in data envelopment analysis: an application to efficiency improvement in local government finance in Japan. *Spatial Economic Analysis*, *4*(3), 249-274.

Nishimizu, M., y Page, J. M. (1982). Total factor productivity growth, technological progress and technical efficiency change: dimensions of productivity change in Yugoslavia 1965-78. *The Economic Journal*, 92, 920-936.

Nogueira Lopes, M. y Camanho, A.S. (2013). Public Green space and consequences on urban vitality: An assessment of european cities. *Social Indicators Research*, 113(3), 751-767.

Nolan, J. F., Ritchie, P. C., y Rowcrofts, J. R. (2002). Identifying and measuring public policy goals: ISTEA and the US bus transit industry. *Journal of Economic Behavior and Organization 48*(3), 291–304.

Nyhan, R. C., y Martin, L. L. (1999). Assessing the performance of municipal police services using data envelopment analysis: an exploratory study. *State and Local Government Review*, *31*(1), 18–30.

OCDE (2014). Spain: from administrative reform to continuous improvement. *OECD Public Governance Reviews*, GOV/PGC(2014)4/ANN1. http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/governance/spain-from-administrative-reform-to-continuous-improvement_9789264210592-en

OECD (2023a), OECD Economic Surveys: Spain 2023, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/5b50cc51-en.

OCDE (2023b). Expenditure structure by level of goverment in *Government at a Glance* 2023, OECD Publising, Paris. https://doi.org/10,1787/570ee836-en

Olesen, O.B., y Petersen, N.C. (1995). Incorporating quality into data envelopment analysis: a stochastic dominance approach. *International Journal of Production Economics*, *39*(1), 117-135.

Olesen, O.B., y Petersen, N.C. (1996). Indicators of ill-conditioned data sets and model misspecification in data envelopment analysis: an extended facet approach. *Management Science, 42*(2), 205–219.

Olesen, O.B., Petersen, N.C. y Lowell, C.A.K. (1996). Summary of the workshop discussion. *Journal of Productivity Analysis*, 7, 341-345.

Ortiz, D. (2003). Los indicadores como instrumentos para la evaluación de gestión pública. Una investigación empírica en el ámbito municipal. (Tesis Doctoral). Universidad de Granada, Granada.

Pablos Rodríguez, J.L. (1997). *Gestión información contable en las entidades locales.* Madrid: ICAC.

Pacheco, F., Sánchez, R., y Villena, M. (2014). A longitudinal parametric approach to estimate local government efficiency. MPRA Paper No. 54918, Munich

Pacheco, F., Sánchez, R., y Villena, M. G. (2021). Estimating local government efficiency using a panel data parametric approach: the case of Chilean municipalities. *Applied Economics,* 53(3), 292-314.

Pacione, M. (2003). Urban environemental quality and human wellbeing-a social geographical perspective. *Landscape and Urban Planning*, 65, 19-30.

Park, B.U., Jeong, S. O., y Simar, L. (2010). Asymptotic distribution of conical-hull estimators of directional edges. *Annals of Statistics*, 38, 1320–1340

Park, B. U., Simar, L., y Weiner, C. (2000). FDH efficiency scores from a stochastic point of view. *Econometric Theory*, 16, 855-877.

Park, B. U., Simar, L., y Zelenyuk, V. (2008). Local likelihood estimation of truncated regression and its partial derivatives: theory and application. *Journal of Economy*, *146*(1), 185-198.

Parkinson, C. N. (1957). *Parkinson's Law: The Pursuit of Progress.* London: John Murray.

Parmeter, C.F., Simar, L., Van Keilegom, I., y Zelenyuk, V. (2024). Inference in the nonparametric stochastic frontier model. *Econometric Reviews*, 1-22.

Pastor, J.T. (1995). Eficiencia, cambio productivo y cambio técnico en los bancos y cajas de ahorro españolas: un análisis frontera no paramétrico. *Revista Española de Economía, 12*(1), 35-73.

Pastor, J.T., Ruiz, J.L. y Sirvent, I. (1999). An enhanced DEA Russell graph efficiency measure. *European Journal of Operational Research* 115, 596-607.

Pastor, J. T., Ruiz, J. L., y Sirvent, I. (2001). A statistical test for nested radial DEA models. *Operations Research*, *50*(4), 728-735.

Pedraja-Chaparro, F., Salinas-Jiménez, J., y Smith, P. C. (2005). Assessing public sector efficiency: Issues and methodologies. Disponible en SSRN 2018855. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2018855

Pérez-López, G., Prior, D., y Zafra-Gómez, J. L. (2015). Rethinking New Public Management delivery forms and efficiency: long-term effects in Spanish Local Government. *Journal of Public Administration Research and Theory*, *25*(4), 1.157-1183.

Petersen, N.C y Olesen, O.B. (1989). Chance constrained efficiency evaluation. Working Papers No. 9/1989, Departament of management, Universitet Odense, Odense, Denmark.

Pevcin, P. (2014). Efficiency levels of sub-national governments: a comparison of SFA and DEA estimations. *The TQM Journal*, *26*(3), 275-283.

Pina, V., y Torres, L. (2001). Analysis of the efficiency of local government services delivering. An application to public urban transport. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 35, 929–944.

Podinovski, V.V., (2016). Optimal weights in DEA models with weight restrictions. *European Journal of Operational Research* 254 (3), 916-924.

Politis D. N., Romano, J. P., y Wolf, M. (2001). On the asymptotic theory of subsampling. *Statistica Sinica*, 11,1105–1124

Pollit, C. (1993). *Managerialism and the public sector* (2a ed). Oxford: Blackwell.

Pommerehne, W. (1978). Institutional approaches to public expenditures: empirical evidence from Swiss municipalities. *Journal of Public Economics*, *9*(2), 255-280.

Portela, M. y Thanassoulis, E. (2007). Developing a decomposable measure of profit efficiency using DEA. *Journal of the Operational Research Society* 58(4), 481-490.

Porter, M. E. (1990). The competitive advantage of nations. *Harvard Business Review*, *68*(2), 73-93.

Prado, J. M., y García, I. (2007). Efficiency evaluation in municipal services: an application to the street lighting service in Spain. *Journal of Productivity Analysis*, 27 (3), 149-162.

Prieto, A. M., y Zofio, J. L. (2001). Evaluating effectiveness in public provision of infrastructure and equipment: the case of Spanish municipalities. *Journal of Production Analysis*, 15, 41–58.

R Core Team. (2017). R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna, Austria: http://www.R-project.org

Ramalho, E., Ramalho, J., y Henriques, P. (2010). Fractional regression models for second stage DEA efficiency analyses. *Journal of Productivity Analysis*, *34*(3), 239-255.

Rattsø, J., y P. Tovmo (2002). Fiscal discipline and asymmetric adjustment of revenues and expenditures: local government responses to shocks in Denmark. *Public Finance Review*, *30*(3), 208-234.

Ray, S.C (1991). Resource use effiency in public schools. A study of Connecticut data. *Management Science* 37, 1620-1628.

Richmond, J. (1974). Estimating the efficiency of production. *International Economic Review*, 15, 515-521.

Rouhi, M., Monfared, M. R., y Forsat, M. (2016). Measuring public satisfaction on urban parks (A case study: Sari city). *Journal of History Culture and Art Research*, 5(4), 457-473.

Rouse, P., Putterill, M., y Ryan, D. (1996). Methologies for the treatment of envioronmental factors in DEA. Department of Accounting and Finance Working Paper, University of Auckland, New Zealand.

Rousseau, J.J., y Semple, J.H. (1993). Categorical outputs in data envelopment analysis. *Management Science, 39*(3), 384–386.

Rueda-López, N., Milán-García, J.,Uribe-Toril, J., y de Pablo-Valenciano, J. (2020). Evolution and latest trends of local government efficiency: Worldwide research (1928–2019). *Journal of Cleaner Production,* 261, 121276.

Ruggiero, J. (1996). On the measurement of technical efficiency in the public sector, *European Journal of Operational Research.* 90, 553-565.

Ruggiero, J. (1998). Non-discretionary inputs in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research,* 111, 461–469.

Ruggiero, J. (2000). Measuring technical efficiency. *European Journal of Operational Research*, 121,138-150.

Ruggiero, J., y Bretschneider, S. (1998). On the measurement of Koopmans efficiency. *European Journal of Operational Research*, 108, 438-451.

Sampaio de Sousa, M. C., Cribari-Neto, F., y Stošić, B. D. (2005). Explaining DEA technical efficiency scores in an outlier corrected environment: the case of public services in Brazilian municipalities. *Brazilian Review of Econometrics*, 25(2), 287-313.

Sampaio de Sousa, M. C., y Stošić, B. (2005). Technical efficiency of the Brazilian municipalities: correcting nonparametric frontier measurements for outliers. *Journal of Productivity Analysis*, 24, 157–81.

Sampaio De Sousa, M., y Ramos, F. (1999). Measuring public spending efficiency in Brazilian municipalities: a nonparametric approach. En G. Westermann (ed.), *Data Envelopment Analysis in the Service Sector* (pp. 237–267). Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

Scheel, H. (2001). Undesirable outputs in efficiency valuations. *European Journal of Operational Research,* 132, 400–410.

Schmidt, P. (1976). On statistical estimation of parametric frontier production functions. *Review of Economics and Statistic*, *58*(2), 238-239.

Seiford, L. M., y Thrall, R. M. (1990). Recent developments in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis. *Journal of Econometrics*, *46*(1-2), 7-38.

Seiford, L.M., y Zhu, J. (1999). Profitability and marketability of the top 55 US commercial Banks. *Management Science 45*(9), 1270–1288.

Seiford, L. M., y Zhu, J. (2002). Modelling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research,* 142, 16–20.

Sengupta, J. K. (1987). Data envelopment analysis for efficiency measurement in the stochastic case. *Computers and Operations Research, 14(2), 117-129.*

Sengupta, J. K. (1990). Transformations in stochastic DEA models. *Journal of Econometrics*, *46*(1), 109-123

Sexton, T.R. (1986). The methodology of dara envelopment analysis. En R. Silkman (ed.), *Measuring Efficiency: An Assessment of Data Envelopment Analysis.* San Francisco, Jossey Bass Incorporated Pub.

Shephard, R. W. (1953). *Cost and production functions*. Princeton: Princeton University Press.

Shephard, R. W. (1970), *Theory of cost and production functions*. Princeton: Princeton University Press.

Silkman, R., y Young, D. R. (1982). X-Efficiency and state formula grants. *National Tax Journal*, *35*(3), 383-397.

Silverman, B. W. (1986). *Density estimation for statistics and data analysis.* London: Chapman and Hall.

Simar, L. (1992). Estimating efficiencies from frontier models with panel data: A comparison of parametric, non-parametric and semi-parametric methods with bootstrapping. *Journal of Productivity Analysis*, 3, 171-203.

Simar, L. (1996). Aspects of statistical analysis in DEA-type frontier models. *Journal of Productivity Analysis*, 3, 171-203.

Simar, L. (2003). Detecting outliers in frontier models: a simple approach. *Journal of Productivity Analysis*, *20*(3), 391-424.

Simar, L. (2007). How to improve the performances of DEA/FDH estimators in the presence of noise? *Journal of Productivity Analysis*, 28(3), 183-201.

Simar, L., Vanhems, A., y Wilson, P. W. (2012). Statistical inference for DEA estimators of directional distances. *European Journal of Operational Research*, *220*(3), 853-864.

Simar, L., y Wilson, P. W. (1998). Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models. *Management Science*, *44*(1), 49-61.

Simar, L., y Wilson, P. W. (1999). Estimating and bootstrapping Malmquist índices. *European Journal of Operational Research*, 115, 459- 471.

Simar, L., y Wilson, P. W. (2000a). Statistical inference in nonparametric frontier models: the state of the art. *Journal of Productivity Analysis,* 13, 49–78

Simar, L., y Wilson, P. W. (2000b). A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models. *Journal of Applied Statistics*, *27*(6), 779-802.

Simar, L., y Wilson, P. W. (2001). Testing restrictions in nonparametric efficiency models. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, *30*(1), 159-184.

Simar, L., y Wilson, P. W. (2002). Non-parametric tests of returns to scale. *European Journal of Operational Research*, *139*(1), 115-132.

Simar, L., y Wilson, P. W. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, *136*(1), 31-64.

Simar, L., y Wilson, P. W. (2011a). Inference by the m out of n bootstrap in nonparametric frontier models. *Journal of Productivity Analysis 36*(1), 33-53.

Simar, L., y Wilson, P. W. (2011b). Two-stage DEA: caveat emptor. *Journal of Productivity Analysis 36*(2), 205-218.

Simar, L., y Wilson, P.W. (2013). Estimation and inference in nonparametric frontier models: recent developments and perspectives. *Foundations and Trends in Econometrics* 5, 183-337

Simar, L., y Wilson, P. W. (2015). Statistical approaches for non-parametric frontier models: a guided tour. *International Statistical Review*, *83*(1), 77-110.

Simar, L. y Wilson, P. W. (2020). Hypothesis testing in nonparametric models of production using multiple sample splits. *Journal of Productivity Analysis,* 53, 287–303.

Sørensen, R. J. (2014). Political competition, party polarization, and government performance. *Public Choice*, 161(3-4), 427-450.

Spann, R. (1977). Public versus private provision of governmental services. En T. Borcherding (ed.), *Budgets and Bureaucrats: The Sources Of Government Growth* (pp. 71-89). Duke University Press, Durham.

Šťastná, L. (2009). Spatial interdependence of local public expenditures: selected evidence from the Czech Republic. *Czech Economic Review*, *3*(1), 7–25.

Šťastná, L., y Gregor, M. (2011). Local government efficiency: evidence from the czech municipalities. IES Working Paper 14/2011. IES FSV. Charles University. Recuperado de SSRN: http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1978730

Šťastná, L., y Gregor, M. (2015). Public sector efficiency in transition and beyond: evidence from Czech local governments. *Applied Economics*, 47(7), 680-699.

Stiglitz, J. E. (2002). Information and the change in the paradigm in economics. *American Economic Review, 92*(3), 460-501.

Sung, N. (2007). Information technology, efficiency and productivity: evidence from Korean local governments. *Applied Economics*, 39, 1691–1703.

Swanwick, C., Dunnet, N., y Wooley, H. (2003). Nature, role y value of Green space in towns and cities: An overview. *Built Envioronment*, 29 (2), 94-406.

Taïrou, A. A. (2000). Does inefficiency explain financial vulnerability of French municipalities? *En International Conference on Accounting, Auditing and Management in Public Sector Reforms*, EIASM, Zaragoza, 589–599.

Thanassoulis, E. (2000). The use of data envelopment analysis in the regulation of water utilities: water distribution. *European Journal of Operational Research, 126*(2), 436–453.

Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the theory and application of data envelopments analysis. A foundation text with integrated software.* Boston: Kluwer Academic Publishers.

Thanassoulis, E. (2002). Comparative performance measurement in regulation: The case of English and Welsh sewerage services. *Journal of the Operational Research Society*, 53(3), 292–302.

Thanassoulis, E., y Allen, R. (1998). Simulating weights restrictions in data envelopment analysis by means of unobserved DMUs. *Management Science*, *44*(4), 586–594.

Thanassoulis. E., y Dyson, R.G. (1992). Estimating preferred target input-output levels using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 56, 80-97.

Thanassoulis, E, Portela, M., y Allen, R. (2004). Incorporating value judgments in DEA. En W.W. Cooper, L.M. Seiford y J. Zhu (Eds.), *Handbook on Data Envelopment Analysis* (pp. 99-138). Boston, MA: Kluwer Academic Publishers. Springer

Thanassoulis, E., Portela, M., y Despic, O. (2008). Data envelopment analysis: the mathematical programming approach to efficiency analysis. En H. Fried, C. Lovell, y S. Schmidt (eds.), *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth* (pp. 251-420). Oxford: Oxford University Press.

Thiel, G. G., Ensslin, S. R., y Ensslin, L. (2017). Street lighting management and performance evaluation: opportunities and challenges. *Lex Localis*, 15(2), 303-328.

Thompson, R.G., Langemeir, L.N., Lee, C., Lee, E., y Thrall, R.M. (1990). The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming. *Journal of Econometrics*, 46, 93–108.

Thompson, R.G., Singleton Jr., F.D., Thrall, R.M., y Smith, B.A. (1986). Comparative site evaluations for locating a high energy physics lab in Texas. *Interfaces* 16, 35–49.

Timmer, C.P. (1971). Using a probabilistic frontier production function to measure technical efficiency. *Journal of political Economy,* 79,767-794.

Tintner, G. (1960). A note on stochastic linear programming. *Econometrica*, 28,490-495.

Toda, Y. (1976). Estimation of a cost function when the cost is not minimum: the case of soviet manufacturing industries, 1958-1971. *Review of Economics and Statistics, 58*(3), 259-268.

Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* 130, 498-509.

Tone, K. (2002). A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* 143, 32-41

Tone, K. (2010). Variations on the theme of slacks-based meaure of efficiency in DEA. *European Journal of Operational Research* 200, 901-907.

Tone, K. (2015). SBM variations. GRIPS Discussion Paper 15-05, 901-907, National Graduate Institute for Policy Studies, Tokio, Japón.

Tone, K. (Ed.). (2017a). *Advances in DEA theory and applications: with extensions to forecasting models*. N.Y, USA: John Wiley & Sons Ltd.

Tone, K. (2017b). On the consistency of slacks-based measure-max model and super-slacks-based measure model. *Universal Journal of Management* 5(3), 160-165.

Tourinho, M., Santos, P. R., Pinto, F. T., y Camanho, A. S. (2022). Performance assessment of water services in Brazilian municipalities: An integrated view of efficiency and access. Socio-*Economic Planning Sciences*, 79, 101139.

Tulkens, H. (1993). On FDH efficiency analysis: some methological issues and applications to retail banking, courts and urban transit. *Journal of Productivity Analysis, 4*(1/2), 183-210.

Tupper, H. C. y Resende, M. (2004). Efficiency and regulatory issues in the Brazilian water and sewage sector: an empirical study. *Utility Policy 12*(1), 29–40.

Vanden, E. P., Tulkens, H., y Jamar, M. (1993). Cost efficiency in Belgian municipalities. En H. Fried, C. A. K. Lovell, y S. Schmidt (eds.), *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications* (pp.300-334). New York: Oxford University Press.

Viton, P.A. (1998). Changes in multi-mode bus transit efficiency, 1988–1992. *Transportation, 25*(1), 1–21.

Wang, S., Cheng, E., Zhu, J., Fu, C., y Wang, W. (2016). Using DEA Models to Measure the Performance of Public Culture Services in China. *En 2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI),* Las Vegas, NV, USA, 2016, pp. 447-452.

Wheelock, D. C., y Wilson, P. W. (2008). Non-parametric, unconditional quantile estimation for efficiency analysis with an application to Federal Reserve check processing operations. *Journal of Econometrics*, *145*(1-2), 209-225.

Wilson, P. W. (1993). Detecting outliers in deterministic nonparametric frontier models with multiple outputs. *Journal of Business & Economic Statistics*, *11*(3), 319-323.

Wilson, P.W. (1995). Detecting influential observations in data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*, *6*(1), 27-45.

Wilson, P.W. (2003). Testing independence in models of productive efficiency. *Journal of Productivity Analysis*, *20*(3), 361-390.

Wilson, P.W. (2008). Fear: A software package for frontier efficiency analysis with R. *SocioEconomic Planning Sciences*, *42*(4), 247-254.

Wilson, P. W. (2018). Dimension reduction in nonparametric models of production. *European Journal of Operational Research*, 267(1), 349-367.

Winsten, C.B. (1957). Discussion on Mr. Farrell's paper. *Journal of the Royal Statistical Society*, Series A: General, 120, 282-284.

Wong, Y. H. B., y Beasley, J. E. (1990). Restricting weight flexibility in data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 41, 829-835.

Woodbury, K., y Dollery, B. (2004). Efficiency measurement in Australian Local government: the case of New South Wales municipal water services. *Review of Policy Research*, *21*(5), 615-636.

Worthington, A. (2000). Cost efficiency in Australian local government: a comparative analysis of mathematical programming and econometric approaches. *Financial Accountability and Management*, 16, 201–223.

Worthington, A. C., y Dollery, B. (2000a). *Efficiency measurement in the local public sector: econometric and mathematical programming frontier techniques*. Queensland University of Technology, School of Economics and Finance.

Worthington, A. C., y Dollery, B. (2000b). Measuring efficiency in local governments´ planning and function. *Public Productivity and Management Review*, *23*(4), 468-485.

Worthington, A. C., y Dollery, B. (2000c). Productive efficiency and the Australian local goverment grants process: an empirical analysis of New South Wales Local Government. *Australasian Journal of Regional Studies*, *6*(1), 95-121.

Worthington, A. C., y Dollery, B. E. (2001). Measuring efficiency in local government: an analysis of New South Wales municipalities domestic waste management function. *Policy Studies Journal*, *29*(2), 4–24.

Worthington, A. C., y Dollery, B. E. (2002). Incorporating contextual information in public sector efficiency analyses: a comparative study of NSW local government. *Applied Economics,* 34, 453-464.

Xue, M., y Harker, P.T (1999). Overcoming the inherent dependency of DEA efficiency score: a bootstrap approach. Working Paper, Wharton Financial Institutions Center, University of Pennsylvania.

Yotopoulos, P. A., y Lau, L. J. (1973). A test for relative economic efficiency: some further results. *American Economic Review, 63*(1), 214-223.

Yotopoulos, P. A., y Lau, L. J. (1979). Resource use in agriculture: Applications of the profit function to selected countries. *Food Research Institute Studies, 17*(1), 1-120.

Yusfany, A. (2015). The efficiency of local governments and its influence factors. *International Journal of Scientific & Technology Research,* 4(10), 219-241.

Zafra-Gómez, J. L. y Muñiz, M.A. (2010). Overcoming cost-inefficiencies within small municipalities: improve financial condition or reduce the quality of public services? *Environment and Planning C: Government and Policy,* 28(4), 609-629.

Zhu, J. (2014). *Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: data envelopment analysis with spreadsheets* (3a ed.). International Series in Operations Research and Management Science (213). Springer.

Zieschang, K., (1984). An extended Farrell efficiency measure. *Journal of Economic Theory*, 33, 387-396.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1. Estudios sobre la eficiencia técnica y coste

Tabla A.1: Resumen de los estudios sobre la eficiencia técnica y coste del sector público citados

Eficiencia global en gobiernos municipales					
Autores	**Método**	**Muestra, Año**	**Factores controlables**	**Factores no controlables**	**Resultados**
Afonso y Fernandes (2006)	DEA	51 municipios portugueses, 2001.	*Inputs:* total de gastos *per cápita.* *Outputs:* cálculo de un único indicador de rendimiento municipal para varios servicios municipales: administración general; educación; servicios sociales; servicios culturales; recolección de residuos domésticos; protección ambiental.		La puntuación media de la eficiencia oscila de 0,57 a 0,99 dependiendo de la especificación empleada.

Afonso y Fernandes (2008)	DEA	278 municipios portugueses, 2001.	*Inputs:* total de gastos *per cápita.* *Outputs:* cálculo de un único indicador de rendimiento municipal para varios servicios municipales (servicios sociales, educación, servicios culturales, saneamiento, organización territorial, infraestructuras de carreteras)	Distancia geográfica hasta la capital del distrito, poder adquisitivo *per cápita*, densidad de población, crecimiento de la población, nivel educativo. *Incorporación*: regresión Tobit.	La eficiencia media varía entre 0,52 y 0,78 dependiendo de la especificación del modelo. La eficiencia aumenta con el nivel de educación, el poder adquisitivo *per cápita* municipal y con una menor distancia geográfica a la capital.
Afonso y Venâncio (2020)	DEA	278 municipios portugueses, 2011 y 2016	*Inputs:* gasto municipal per cápita. *Outputs:* Indicador compuesto de output (servicios sociales, culturales, saneamiento, organización territorial)	Variación del número de parroquias civiles, variación de la población, variación de los ingresos propios, variación del gasto per cápita, variación de la abstención en las elecciones, poder adquisitivo, índice Herfindahl, y tres variables *dummies*: si ha reducido parroquias civiles o no, si es costero o no y si el alcalde ha sido reelegido en las últimas elecciones o no. Índice de	Las reformas llevadas a cabo sólo suponen una mejora de la eficiencia en el 10% (6% en orientación output) de los municipios. El análisis de determinantes muestra que las reformas territoriales no mejoran la eficiencia.

				turismo, área, densidad de población, consumo de combustible y de energía, alcalde de izquierdas o derechas. *Incorporación:* MCO, regresión Tobit y doble bootstrap.	
Agasisti et al. (2016)	DEA bootstrap	331 municipios italianos, 2010-2012	*Input:* gastos corrientes. *Output:* población, distancia recorrida anualmente por los coches de policía, residuos recogidos y km de carreteras municipales.	Distribución por edades de la población, número de familias, impuesto sobre la renta per cápita, *dummies* sobre la provincia del municipio y su configuración geográfica, densidad de población, superávit per cápita, autonomía fiscal, gastos de capital per cápita, velocidad de pago de los gastos corrientes, género del alcalde, ideología política de las coaliciones, años hasta las elecciones, 5 variables	Eficiencia media del 67%. Los resultados de la regresión truncada muestran que los municipios con mayor porcentaje de población por debajo de los 18 años, renta per cápita, estructuras más densas y superávit en su gestión presentan niveles de eficiencia más próximos al óptimo. Sin embargo, aquellos con mayor autonomía fiscal se asocian a menor eficiencia.

				sobre las potenciales formas de gestión. *Incorporación:* regresión truncada	
Asatrayan y De Witte (2015)	FDH-orden-m condicional	2000 municipios bávaros (Alemania), 2003-2011	*Inputs:* gasto total anual *per cápita* neto de transferencias y población total. *Outputs:* ratio de estudiantes de secundaria por profesor, ratio niños por personal del jardín de infancia, pacientes mayores, área de parques y zonas recreativas, trabajadores cotizantes, gasto público *per cápita* en personal	*Dummy* iniciativas, ratio participación, ingresos públicos *per cápita,* porcentaje de población menor de 18 años y diferencias ideológicas. *Incorporación:* bootstrap no paramétrico	La eficiencia media es del 88% (orientación output). La actividad democrática más directa del ciudadano a través de mecanismos de toma de decisiones se asocia a mayores niveles de democracia.
Asworth et al. (2006) comprobar si es este		308 municipios flamencos, 2000	*Inputs:* gastos totales. *Outputs:* el número de beneficiarios de subvenciones de subsistencia, número de estudiantes en escuelas primarias, proporción de habitantes mayores de 65 años, población total, y la	Renta *per capita*, igualdad de renta, densidad de población, ingresos por impuestos, ingresos de subvenciones, deuda *per cápita*, superávit, ideología en el poder, *dummy* sobre fragmentación política, *Incorporación:* análisis Tobit	

			superficie de instalaciones recreativas.		
Ashworth et al. (2014)	DEA	308 municipios flamencos, 2000	*Inputs:* gastos totales. *Outputs:* el número de beneficiarios de subvenciones de subsistencia, número de estudiantes en escuelas primarias, proporción de habitantes mayores de 65 años, eliminación de basura, la superficie de instalaciones recreativas y longitud de carreteras municipales.	Competición política (número de partidos que compiten en las elecciones, volatilidad de los resultados electorales), ingreso *per cápita*, densidad, población, desigualdad de ingresos, ingresos totales por impuestos municipales, subvenciones incondicionales, deuda pública a lp *per cápita*, superávit, ideología política, *dummy* sobre si hay un único partido en el gobierno, número de partidos en coalición, número de partidos en la oposición, número de escaños del partido gobernante). *Incorporación*: segunda etapa del análisis Simar y Wilson (2007)	El nivel de eficiencia medio es de 0,587. La eficiencia del gobierno local incrementa con gobiernos de derechas y con amplias mayorías, baja carga fiscal, superávit, ingresos procedentes de subvenciones y competencia política que contrarresta el efecto negativo de la fragmentación gubernamental.

Athanasso-poulos y Triantis (1998)	DEA SFA	172 municipios griegos, 1986	*Inputs:* gastos corrientes totales *Output*s: hogares residentes, tamaño medio de los hogares, área construida, área de industria pesada, tamaño medio del emplazamiento industrial, y área turística.	Costes sobre gastos servicios, subvenciones del gobierno central, inversión en infraestructuras, *dummy* partido político en el poder, densidad, índice de cargas y tasas *Incorporación*: análisis *cluster* difuso K-means y regresión Tobit.	Eficiencia media 0,60 (DEA) y 0,85 (SFA). La concentración de la población, subsidios y mismo signo político que el gobierno central afecta negativamente a la eficiencia. A más ingresos propios e inversión en infraestructuras mejor eficiencia en costes.
Balaguer (2004)	DEA	258 municipios españoles de la C. Valenciana, 1992-1995	*Inputs:* Diferentes capítulos de gasto presupuestario dependiendo del modelo. *Outputs:* puntos de luz, ton. Residuos recogidos, superficie de infraestructura viaria, superficie de parques públicos, habitantes, número de votos y calidad de los servicios prestados.	-	La eficiencia media para el período seleccionado es de 80.69 y 84,34 en los modelos DEA con variables de producción, y de 79,53 y 76,31 en los modelos con variables de calidad.
Balaguer-Coll et al. (2002)	DEA	258 municipios españoles de	*Inputs:* Sueldos y salarios, gastos en bienes y servicios,	Ingresos fiscales, subvenciones, pasivos financieros, tasa desempleo, índice turístico,	Eficiencia técnica global entre el 66% y el 75% dependiendo de las diferentes

		la C. Valenciana, 1992-1995	transferencias corrientes y de capital y gastos de capital. *Outputs:* población, número de votos, número de puntos de luz, tons de basura, superficie de infraestructuras viarias, superficie parques públicos, calidad de servicios.	actividad comercial y nivel económico. *Incorporación:* segunda etapa regresión Tobit	especificaciones de output. Impacto significativo y negativo de las variables ingresos fiscales y subvenciones, positivo del nivel de actividad comercial.
Balaguer-Coll et al. (2007)	DEA FDH	414 municipios españoles de la C. Valenciana, 1995	*Inputs:* sueldos y salarios, gastos en bienes y servicios, transferencias corrientes y de capital, gastos de capital. *Output*s: población, número de puntos de luz, tons de residuos recogidos, superficie de infraestructuras viarias, superficie registrada de parques públicos, indicador de calidad.	Ingresos fiscales per cápita(log), subvenciones per cápita (log), ingresos propios per cápita (log), pasivos financieros per cápita (log), déficit, votos recibidos por el partido gobernante. *Incorporación:* segunda etapa del análisis técnicas de suavizado no paramétricas	La eficiencia media es del 53% y 90% en las estimaciones DEA-VRS y FDH respectivamente. Los resultados sugieren que los recursos son mejor asignados por municipios grandes. Con las variables fiscales encuentran un patrón negativo, mientras que la variable política *porcentaje de votos del partido gobernante* no muestra una clara asociación con la eficiencia.

Balaguer-Coll et al. (2010)	FDH	1221 municipios españoles, 1995 y 2000	*Inputs:* sueldos y salarios, gastos en bienes y servicios, transferencias corrientes, gastos de capital, transferencias de capital. *Output*s: población, número de puntos de luz, tons de residuos recogidos, superficie de infraestructuras viarias, superficie construida, superficie de lonjas, superficie registrada de parques públicos, superficie de centros asistenciales	-	Eficiencia media de 0,846 en 1995 y de 0.854 en el 2000. La eficiencia media aumenta a mayor tamaño poblacional del municipio. Sus resultados no permiten responder claramente al objetivo perseguido sobre si la descentralización mejora o no los niveles de eficiencia.
Balaguer-Coll et al. (2013)	FDH Order-m	1198 municipios españoles, 2000	*Inputs:* sueldos y salarios, gastos en bienes y servicios, transferencias corrientes, gastos de capital, transferencias de capital. *Output*s: población, número de puntos de luz, tons de residuos recogidos, superficie de infraestructuras viarias, superficie de edificios públicos, superficie de mercados, superficie registrada de	Superficie total, índice de turismo, indicador de ingresos per cápita, número de establecimientos industriales, número de coches, desempleo, porcentaje de crecimiento de la población, construcción, porcentaje de vehículos agrícolas, número de entidades bancarias.	Eficiencia media del 91,18%. Los resultados evidencian que los *clusters* caracterizados por altos niveles de renta, actividad industrial y constructora, elevado número de coches y de sucursales bancarias y baja tasa de desempleo presentan bajo grado de eficiencia.

			parques públicos, superficie de centros asistenciales.	*Incorporación*: en la segunda etapa crean *clusters* y en la tercera estiman las medidas de eficiencia condicional teniendo en cuenta la información de los *clusters*.	
Balaguer-Coll et al. (2019)	FDH Orden-m	524 municipios españoles de la C. Valenciana, 2011	*Inputs:* sueldos y salarios, gastos en bienes y servicios, transferencias corrientes, gastos de capital, transferencias de capital. *Output*s: población, número de puntos de luz, tons de residuos recogidos, superficie de infraestructuras viarias, superficie de parques públicos, área total e indicador de calidad.	Densidad, tasa de desempleo, renta, turismo, ideología política, Herfindahl, participación electoral, impuestos, subvenciones, deuda y errores presupuestarios. Interdependencia espacial *Incorporación:* MCO	Alta participación electoral, facilidad para la obtención de recursos (impuestos, subvenciones) y la relajación de las restricciones presupuestarias implican una mayor ineficiencia. El resto de variables no son estadísticamente significativas. Se constata la existencia de relación entre la interdependencia espacial y la eficiencia.
Balaguer-Coll et al. (2020)	DEA	1820 municipios	*Inputs:* Costes totales de los servicios e infraestructuras provistas.	Renta disponible, número de sucursales bancarias, densidad, crecimiento de la población,	La eficiencia media varía entes 0,495 y 0,602 a lo largo del periodo. Analizan la eficiencia

		españoles, 2008-2015	*Outputs:* población, superficie infraestructuras viarias, número de puntos de luz, tons basura recogida, longitud red de distribución de agua, longitud red de saneamiento, área de parques públicos, área de bibliotecas, área de mercados, y área de instalaciones deportivas.	población jubilada, dummy si el partido político municipal es de igual signo político que el regional y autonomía fiscal. Variables instrumentales: *dummy* si cumple cuota de género, Herfindahl. *Incorporación:* análisis de regresión	como determinante del crecimiento económico. Si sólo se introduce en el análisis de regresión la variable eficiencia es solo moderadamente significativa, al incluir el resto de variables incrementa el efecto de la eficiencia sobre el crecimiento aumenta.
Balaguer-Coll y Prior (2009)	DEA	258 municipios españoles de Valencia, 1992-1995	*Inputs:* sueldos y salarios, gastos en bienes y servicios, transferencias corrientes y de capital, y gastos de capital. *Output*s: población, número de votos, número de puntos de luz, tons de residuos recogidos, superficie de infraestructuras viarias, superficie registrada de parques públicos, y calidad (variable dicotómica).	Ingresos fiscales per cápita, subvenciones per cápita, pasivos financieros, tasa de desempleo, índice de turismo, nivel de actividad comercial, y nivel económico. *Incorporación:* regresión Tobit	La eficiencia técnica global caria entre el 66% y el 75% dependiendo de la especificación output seleccionada. Una mayor población y un alto nivel de actividad comercial favorecen los niveles de eficiencia. En cambio, altos ingresos derivados de impuestos y subvenciones perjudica los coeficientes de eficiencia. El resto de variables no afectan

					significativamente los niveles de eficiencia.
Basílio et al (2020)	DEA, IDEA	278 municipios portugueses, 2010 y 2015	*Inputs:* gastos corrientes *Outputs:* residuos urbanos recogidos, permisos de construcción, estudiantes matriculados en jardines de infancia y primaria; población mayor de 65 años, población residente, área municipal	Densidad de población, nivel de estudios, desempleo, participación democrática, deuda, autonomía fiscal, ratio transferencias estatales, coste medio por empleado, *dummy* municipio costero y parroquias civiles *Incorporación:* Modelos lineales de respuesta fraccionada (FRM) con error estándar y estimación cuasi- máxima verosimilitud.	Los municipios más grandes son más eficientes en ambos años, No encuentran diferencias significativas entre los resultados para antes y después de la intervención de la Troika. A mayor educación, autonomía fiscal y ratio de transferencias mejor eficiencia
Benito et al. (2010)	DEA	31 españoles de la Región de Murcia, 2002	*Inputs:* costes de personal y consumos corrientes en los servicios de policía, cultura, deportes, zonas verdes, recogida de basuras y suministro de agua *Outputs:* Policía, número de detenciones, número de	Nivel económico, índice turístico, población, extensión municipio, densidad, signo político, carga fiscal, deuda per cápita	La eficiencia media varía entre 0,11 y 0.90 dependiendo del tipo de servicio y del modo de gestión. Las variables socioeconómicas políticas y financieras no son estadísticamente significativas,

			intervenciones; Cultura, número visitas a museos municipales, número volúmenes en bibliotecas; Deportes, m^2 de instalaciones deportivas cubiertas, m^2 de instalaciones descubiertas , número matriculados a actividades deportivas municipales; Zonas verdes, m^2 de zonas verdes, número horas de mantenimiento y conservación; Recogida de basuras, tons de basura recogida doméstica e industrial, número de establecimientos comerciales, industriales y hogares en los que se recoge diariamente; Agua, m^3 de agua suministrada, número de conexiones a la red de agua potable.		a excepción de tamaño municipal (población) y carga fiscal en el servicio de suministro de agua y densidad en el servicio de zonas verdes.

Borge et al. (2008)	Ratio output/ input	362-384 municipios noruegos, 2001-2005	*Input:* Ingresos del gobierno local *per cápita* *Outputs:* medida de output agregado basada en 17 indicadores de producción para 6 servicios públicos (cuidado de personas mayores, educación, centros de día para niños de 0-5 años, prestaciones sociales, custodia de niños, y centros de salud primaria).	Ingresos locales, participación democrática de los votantes, porcentaje de socialistas en el consejo, índice Herfindahl-Hirschman, 6 variables *dummy* que reflejan si existe mayoría de escaños socialistas, si el alcalde y vicepresidente son del mismo partido y su partido es mayoritario o minoritario, si son de distintos partidos y si estos son mayoritarios o minoritarios, y la centralización o no del proceso presupuestario. *Incorporación:* Regresiones MCO.	Los niveles de eficiencia varían de 100,9 a 104,8 (valor mediana). Los resultados muestran que una elevada capacidad fiscal y fragmentación política se asocia con baja eficiencia. En cambio, un líder político fuerte y alta participación democrática contribuye a mejores niveles de eficiencia.
Bosch et al. (2012)	DEA	102 municipios españoles de Cataluña, 2005	*Inputs:* gastos operáticos corrientes y gastos de capital. *Outputs:* Indicador output global.	Nivel de renta, ciudadanos con alto nivel educativo, actividad comercial, actividad turística, población jubilada, electores potenciales, impuestos	Eficiencia media del 72,7%. El bajo coste de oportunidad de obtener información es un factor determinante para ejercer control, lo que

				municipales, transferencias, signo político del alcalde, gobierno en coalición o no y fragmentación de la oposición. *Incorporación:* en segunda etapa mediante regresión Tobit y regresión truncada, algoritmo II de SW.	conducirá a una mayor eficiencia. Un efecto desfavorable sobre la eficiencia presenta las variables índice turístico, nivel económico, renta *per cápita* y transferencias recibidas. Las variables políticas no son significativas.
Cordero, Pedraja-Chaparro, et al., (2017)	FDH y order-α cuantil condicional	278 municipios portugueses, 2009-2014	*Inputs:* gastos operativos, personal y capital. *Output*s: población, permisos construcción, residuos urbanos recogidos, agua suministrada, consumo de alumbrado público, número de escuelas de preescolar y primaria, e indicador output global.	Densidad, *dummy* municipio costero, salario medio, número de parroquias civiles, porcentaje de deuda neta sobre el total de gasto y tiempo (año). *Incorporación*: Modelo condicional y regresión.	Eficiencia media 0.558 (FDH) y 0.823 (FDH-condicional), decrece a lo largo del periodo considerado, aumentando ligeramente el último ejercicio (tras elecciones y reducción de parroquias). El efecto del tiempo es casi inexistente al contrario que el de los factores exógenos que si es notable. La densidad de población y localización costera tienen un efecto positivo sobre la

					eficiencia. Mientras que el efecto es negativo para el nivel de deuda. El nivel de ingresos y el número de parroquias civiles tienen una leve repercusión positiva sobre la eficiencia hasta cierto nivel que torna a negativa para altos valores de esas variables.
Cordero, Díaz y Polo (2017)	FDH-Modelo Condicional dinámico	154 municipios españoles de Cataluña, 2005-2012	*Inputs:* gastos de personal, otros gastos corrientes y gastos de capital. *Output*s: Indicador compuesto (número de farolas, tons de residuos recogidos, longitud de tuberías de agua, km de superficie de caminos y carreteras principales, m^2 de cementerio, población estacional).	Ingreso per cápita, tasa de desempleo, capacidad de consumo, población, densidad y deuda *per cápita.* *Incorporación:* en el modelo condicional. Regresión no paramétrica donde la variable dependiente es la ratio entre la medida condicional e incondicional.	Eficiencia media 0,715 (mod. Incondicional) y 0,868 (mod. Condicional). Los resultados muestran una caída de los niveles de eficiencia en los años del boom económico. Todas las variables exógenas son significativas a excepción de *densidad.* Sólo la variable *capacidad de consumo* revela un efecto favorable sobre la eficiencia.

Cordero et al. (2020)	DEA Modelo no paramétrico condicional dependiente del tiempo	154 municipios españoles, 2005-2012	*Inputs:* gastos de personal, otros gastos corrientes y gastos de capital. *Outputs:* Indicador compuesto (número de farolas, tons de residuos recogidos, longitud de tuberías de agua, km de superficie de caminos y carreteras principales y m^2 de cementerio).	- *Variable auxiliar:* Población. Factor de heterogeneidad. Tiempo *Incorporación:* modelo de regresión escala-ubicación. Regresión no paramétrica donde la variable dependiente es la ratio entre la medida condicional e incondicional.	La eficiencia media condicional (0,55) es mayor que la incondicional (0,44). Respecto al efecto de del factor de heterogeneidad no observado sugiere que a los municipios pequeños les cuesta más adaptarse a los cambios de contexto caracterizado por los escasos recursos financieros como consecuencia de la crisis, que a los grandes.
Cuadrado-Ballesteros et al. (2013)	DEA	129 municipios españoles, 1999-2007	*Inputs:* sueldos y salarios, gastos en bienes y servicios, transferencias corrientes, gastos de capital, transferencias de capital. *Output*s: superficie, número de vehículos en circulación, densidad, población, impuestos sobre construcción, población desempleada, número de actividades económicas.	Descentralización, externalización, compañías mixtas, entidades descentralizadas, externalizadas y mixtas creadas por partidos de derechas, producto interior bruto per cápita, índice turístico, *dummy* sobre	La eficiencia media varía entre el 0.927 y el 0979. Sus resultados no demuestran que la participación del sector privado en la provisión de servicios públicos mejore la eficiencia. Respecto a las variables de control, aparecen estadísticamente significativas y con repercusión negativa

				ideología política, rivalidad política y fortaleza. *Incorporación:* segunda etapa del análisis mediante regresión truncada (algoritmo 1 de SW)	sobre la eficiencia la rivalidad política, el índice turístico y el nivel económico.
D´Inverno et al. (2018)	DEA	282 municipios toscanos (Italia), 2011	*Inputs:* gastos corrientes de la administración general, policía local, educación, mantenimiento de carreteras y servicios sociales. *Outputs:* Población total, población residente más presencia turística, longitud de carreteras, población en edad escolar (3-13años), y población menor 5 años más población mayor de 65 años más inmigrantes.	Autonomía financiera, ingresos sobre el total de la población, turismo, tamaño municipal (5 *dummy*), *dummy* para montaña, densidad, *dummy* segundo mandato del alcalde *Incorporación*: regresión Tobit, y bootstrap	La eficiencia global media es de 0,44. Para cada una de las funciones analizadas es de 0,59; 0,43; 0,43; 0,35 y 0.36 respectivamente. Los municipios con mayor población son más eficientes en la prestación de servicios. La ineficiencia más alta se presenta en municipios de montaña o con elevada presencia turística o un sistema laboral no especializado. La regresión Tobit confirma los resultados obtenidos en el análisis descriptivo. La variable densidad no muestra un

					impacto estadísticamente significativo sobre la eficiencia.
Da Cruz y Marques (2014)	DEA Super-eficiencia	308 municipios portugueses, 2009	*Inputs:* staff, gastos de capital, otros gastos operativos. *Outputs:* población, km de caminos, residuos urbanos recogidos, agua potable suministrada, tratamiento de aguas residuales e infraestructuras.	Zona litoral, turismo, isla, topografía, tasa de criminalidad, analfabetismo, educación obligatoria, participación electoral, índice de envejecimiento, concentración, densidad de población, combustible consumido, PIB per cápita, vehículos nuevos vendidos, poder adquisitivo, corporatización, ideología, nuevo gobierno, periodo medio de pago, independencia financiera, área, densidad de parroquias, número de parroquias, vivienda pública y deuda neta *Incorporación:* Tobit, MCO y doble-bootstrap SW.	La eficiencia media varía entre 0.736(CRS) a 0.843 (super-ef CRS). Los municipios con alta actividad turística, alto poder adquisitivo y renta, elevados porcentaje de gente mayor y superficie presentan menor eficiencia. Los ciudadanos parecen penalizar en las elecciones a los gobernantes locales que gestionan eficientemente.

De Borger et al. (1994)	FDH	589 municipios belgas, 1985	*Inputs:* número de trabajadores de cuello blanco y de azul, espacio de edificios. *Output*s: superficie de caminos; número de beneficiarios de la subvención mínima de subsistencia; estudiantes matriculados en escuelas primarias; superficie de instalaciones de recreación pública, proxy para servicios entregados a no residentes.	Población, nivel de renta, subvenciones recibidas, número partidos en coalición, porcentaje de de población adulta con educación superior, densidad, *dummy* presencia de partidos liberales en la coalición, *dummy* presencia de partidos socialistas en la coalición gobernante. *Incorporación:* Regresión Tobit	Eficiencia media entre el 0,86 y el 0,99 dependiendo de la especificación output y de la medida de eficiencia empleada. Los datos parecen revelar como determinantes positivos del nivel de eficiencia la educación y el tamaño de la población.
De Borger y Kerstens (1996a)	DEA FDH SFA	589 municipios belgas, 1985	*Inputs:* gastos corrientes totales *Output*s: población total; porcentaje de población mayor de 65 años, número de beneficiarios de subsidio de desempleo, número de estudiantes en la escuela primaria, zonas de recreo y superficie de parques.	Población, número de partidos en coalición, *dummy* variables que indican la presencia de liberales o socialistas en la coalición gobernante, renta media personal, subvenciones y el porcentaje de población adulta con un grado de educación superior.	Eficiencia media de 0,57 con (MCOC) a 0,937 (FDH). Sus resultados muestran un impacto positivo sobre la eficiencia de la carga fiscal, la concentración de la población y el nivel educativo, y negativo del nivel de ingresos y subvenciones.

				Incorporación: regresión MCO y Tobit.	
De Borger y Kerstens (1996b)	FDH	589 municipios belgas, 1985	*Inputs:* gastos corrientes totales *Output*s: superficie de carreteras, población total, porcentaje de población mayor de 65 años, número de beneficiarios de subsidio de subsistencia mínimo, número de estudiantes en la escuela primaria y superficie instalaciones recreativas.	Renta media personal, tasas, subvenciones, número de partidos en coalición, dummy variables que indican la presencia de liberales o socialistas en la coalición gobernante y el porcentaje de población adulta con un grado de educación superior. *Incorporación:* segunda etapa del análisis regresión Tobit.	Para una orientación output, la eficiencia media va desde 0.972 a 0.81 dependiendo de la medida radial o no radial empleada. Si bien las diferencias más sustanciales se dan entre las alternativas no radiales. Un alto nivel educativo de la población estimula la eficiencia.
Geys (2006)	SFA	300 municipios belgas de Flandes, 2000	*Inputs:* Gastos corrientes totales. *Outputs:* número de beneficiarios de subvenciones de subsistencia, número estudiantes escuela primaria, superficie de instalaciones recreativas, longitud carreteras municipales.	Renta, porcentaje de propietarios, población, densidad, amalgamas municipales, deuda pública, *superávit*, subvenciones, fragmentación gubernamental e ideológica e ideología política del gobierno.	Usando el índice de eficiencia como indicador de la relación "precio/calidad" se muestra un patrón espacial significativo indicando interdependencia entre la ratio de ingresos por tasas para la prestación de bienes públicos de una jurisdicción y las jurisdicciones

				Incorporación: modelo de Máxima verosimilitud y MCO.	vecinas. Los municipios colindantes con municipios eficientes tienden a ser más eficientes.
Geys et al. (2010)	SFA	987 municipios alemanes, 1998, 2002 y 2004	*Input:* total de gastos netos municipales. *Output:* número de estudiantes en las escuelas públicas locales, número jardines de infancia, superficie de instalaciones recreativas, población total, población mayor de 65 años y número de empleados que cotizan.	Participación electoral, sindicatos de votantes libres, proporción de votantes respecto a la población total, *dummy* sobre la independencia financiera, densidad de población, tasa de desempleo, Herfindahl, porcentaje de escaños en partidos de izquierdas.	Menores niveles de eficiencia se asocian a alto desempleo (el efecto de la menor demanda de servicios públicos de alta calidad supera el efecto de un mayor gasto derivado del desempleo), baja competencia política y escaso porcentaje de escaños ocupados por partidos de izquierdas. Densidad de población presenta ventajas en costes (economías de aglomeración). El efecto positivo de tener independencia financiera sugiere que los municipios pueden permitirse más bienes y servicios públicos por el

					mayor poder económico. La participación de los votantes mejora la eficiencia.
Geys et al. (2013)	SFA	1021 municipios alemanes, 2001	*Input:* total de gastos primarios municipales (excepto interese y amortización de deuda) *Output:* número de estudiantes en las escuelas públicas locales, número lugares de jardín de infantes, la superficie de instalaciones recreativas públicas, la población total, la población mayor de 65 años, y número de empleados que pagan contribuciones a la seguridad social	Densidad de población, tasa de desempleo, Herfindahl. *Incorporación:* en el término de error de la frontera translogarítmica estimada	De media los municipios podrían reducir sus costes entre un 12% y un 15%. Sus resultados indican que los municipios de menor tamaño son más ineficientes. Respecto a las variables no discrecionales encuentran que una mayor densidad de población y concentración política llevaría a reducir la eficiencia.
Geys y Moesen (2009a)	SFA	300 municipios flamencos, 2000	*Inputs:* gastos corrientes de los servicios de los que se han extraído los outputs (modelo1), gastos totales (modelo 2), *Outputs:* número beneficiarios de subsidios de subsistencia, número	Tipo de municipio agrícola, residencial, industrial, turístico), renta *per cápita*, nivel de educación, desigualdad de renta, tasa de desempleo, población, densidad,	Señalan como fuentes de ineficiencia el mayor tamaño y la densidad poblacional del municipio. La variable subvenciones recibidas de un nivel gubernamental superior

			estudiantes de primaria, área de instalaciones recreativas, longitud de carreteras residuos recogidos.	proporción de propietarios, deuda pública a lp, nivel de superávit fiscal, subvenciones recibidas e ideología política. *Incorporación:* incluido en la función de costes	presenta un fuerte y consistente efecto positivo sobre la eficiencia. Tipología del municipio no es significativa
Geys y Moesen (2009b)	DEA FDH SFA	304 municipios flamencos, 2000	*Inputs:* gastos corrientes totales. *Outputs:* número beneficiarios de subsidios de subsistencia, número estudiantes de primaria, área de instalaciones recreativas, longitud de carreteras residuos recogidos.	-	La eficiencia media obtenida con cada uno de los métodos va desde un 49,57% para DEA-CRS, un 64,32% en DEA-VRS, un 85,76% en SFA, hasta un 95,04% en FDH.
Giménez y Prior (2007)	Métodos Frontera no convexa	258 municipios catalanes (España), 1996	*Input:* consumo de materiales y adquisición de servicios, transferencias corrientes y coste laboral. *Output:* área urbana, población total, número de coches, número de construcciones, y tons de basura.	Nivel de ingreso per cápita, índices de actividad industrial, comercial y turística, población, densidad, número de habitantes de menos de 14 años, número de habitantes por encima de los 65 años, número de policías municipales, *dummy* sobre la existencia o no de biblioteca pública.	El exceso de coste municipal agregado es del 25%, sólo el 65 podría ser corregido a corto plazo. Los municipios grandes, con niveles medios y bajos de renta y altos índices de actividad comercial y turística son más eficientes en costes. Sus resultados implican que las ineficiencias a corto plazo

				Incorporación: regresión Tobit.	pueden ser controladas mediante recortes presupuestarios mientras que las de largo plazo requieren una perspectiva estratégica, tiempo y capacidad para modificar situaciones estructurales.
Grosskopf y Hayes (1993)	Funciones distancia tipo Shepard	154 municipios estadounidenses, 1982-1986	*Inputs:* salario medio ponderado para todos los empleados uniformados, tasas de rendimiento medio bonos. *Outputs:* ratio entre la población y los delitos cometidos y valor medio de la vivienda.	-	Eficiencia media del 90%.
Grossman et al. (1999)	SFA	49 ciudades de EE.UU., 1967, 1973,1977 y 1982	*Inputs:* valor mercado, s. impuestos sobre la propiedad, propiedad en zona residencia, en zona comercial, gasto, gasto en educación, casas construidas última década, superficie, t. empleo, porcentaje población	Número de ciudades en el área estadística metropolitana de la ciudad, población media en área estadística metropolitana, número de ciudades en EU, cobra impuesto sobre la renta, porcentaje de subvenciones	Consideran que la ineficiencia técnica tiene lugar si el valor de las propiedades de una ciudad es menor al máximo valor dado un determinado valor de los inputs que se especifican (O.o). La eficiencia media varía

			afroamericana, renta media, ingresos por tasas, número de casas, ingresos agregados, impuestos por cada $ de ingreso. *Output:* valor agregado de propiedades residenciales y comerciales en la ciudad.	federales sobre gasto, años de mandato del alcalde, forma de gobierno, alcalde elegido en una elección general Incorporación: añadidas en la función de producción	de 0,81 a 0,84. Cuanto mayor es el número de ciudades en el área estadística metropolitana de una ciudad central y mayor población de las ciudades suburbanas en el área metropolitana, más eficiente es la ciudad central. Las ciudades competidoras tienen menos probabilidades de ser técnicamente ineficientes.
Herrera y Franke (2009)	DEA FDH MCOC SFA	1686 municipios, 2003	*Inputs:* gasto municipal per cápita de seis funciones de gestión municipal (administración y planeamiento, asistencia y previsión social, educación y cultura, industria, comercio y servicios, salud y saneamiento y transporte). *Outputs:* Indicador de desempeño municipal que recoge 17	Fondos transferidos del Fondo Común, cantidad trasnferida por concepto de canon, densidad, número miembros del consejo de coordinación local, porcentaje e población con enseñanza secundaria, y porcentaje de población con estudios universitarios. *Incorporación:* regresión Tobit.	Los recursos podrían disminuir un 57,6% y seguir ofreciendo el mismo nivel de bienes y servicios municipales. La principal fuente de ineficiencia detectada fue la recepción de transferencias. En cambio, la participación civil implicó gasto eficiente.

			subindicadores de las 6 funciones de gestión municipal señaladas.		
Hughes y Edwards (2000)	DEA MCOC	173 condados de Minnesota (EE.UU)	*Inputs:* gastos en educación, servicios sociales, transporte, seguridad pública, medioambiente y administración), área terrestre, área agua, n casas, número habitaciones, renta media, ratio de pobreza, ratio de criminalidad, empleo, densidad, porcentaje de población que vive y trabaja en el condado *Outputs:* valor total de la propiedad (valor de mercado de propiedades residenciales, comerciales e industriales).	Tamaño jurisdicción, número de unidades gubernamentales y nivel de gasto gubernamental. *Incorporación:* regresión Tobit.	Eficiencia media 0,718 (DEA-CRS), 0.998(DEA-VRS) y 0.996 (MCOC). Inapropiada escala de operaciones, excesivo tamaño de las jurisdicciones.
Kalb (2010)	SFA	1022 municipios alemanes, 2001	*Inputs:* Gastos primarios corrientes (netos). *Outputs:* número de estudiantes de primaria y secundaria, número de jardines de infancia, superficie de infraestructuras recreativas,	Tasa de desempleo, densidad población, instalaciones de alojamiento, índice Herfindahl, porcentaje de partidos de escaños de partidos de izquierdas.	Los niveles de coste se sitúan de media entre un 21% -24% por encima del nivel eficiente si no se consideran las variables exógenas, o entre un 13%-16% considerándolas. Los

			población, porcentaje de población mayor 65 años y número empleados que cotizan.	*Incorporación:* procedimiento de una etapa (Battese y Coelli,1995)	resultados indican un deterioro de la eficiencia ante una mayor concentración de la población y política, y con el nivel turístico.
		245 municipios alemanes, 1990-2004	*Inputs:* Gastos primarios corrientes (netos). *Outputs:* número de estudiantes en escuelas públicas, superficie de áreas de recuperación, población, porcentaje de población mayor 65 años y número empleados que cotizan.	Subvenciones *per cápita*, dos *dummies* sobre la capacidad fiscal del municipio, tasa desempleo, densidad, estudiantes universitarios, instalaciones de alojamiento, índice Herfindahl, porcentaje de partidos de izquierdas.	Analizan la relación entre las subvenciones recibidas por los municipios y el grado de eficiencia. Efectivamente un incremento en la cantidad de subvenciones recibidas incrementa la ineficiencia técnica. Relación desfavorable con el nivel turístico, la concentración política y el porcentaje de partidos de izquierdas.
		987 municipios alemanes, 1998, 2002 y 2004.	*Ídem* primera aplicación	Participación electoral, existencia de sindicatos de votantes libres, porcentaje de votantes, *dummy* abundante capacidad fiscal, tasa desempleo, densidad, índice	La participación de los votantes es determinante en la (in) eficiencia gubernamental local. En los municipios con un alto grado de autonomía fiscal el

				Herfindahl, y porcentaje de partidos de izquierdas.	efecto positivo de la participación es más fuerte.
Kalb et al. (2012)	SFA	1015 municipios alemanes, 2004	*Inputs:* Gastos primarios corrientes (netos). *Outputs:* número de estudiantes de primaria y secundaria, número de jardines de infancia, superficie de infraestructuras recreativas, población, porcentaje de población mayor 65 años y número empleados que cotizan.	Densidad de población, tasa de desempleo, número de instalaciones turísticas, índice Herfindahl, y porcentaje de asientos de partidos de izquierda. *Incorporación:* procedimiento de una etapa (Battese y Coelli,1995)	La ineficiencia media indica que deberían reducir costes entre un 17% y un 20% (11%-13% integrando las variables exógenas). Concluyen que se produce subestimación de la eficiencia de los municipios turísticos y concentración política, y al contrario en los municipios con alto desempleo, si no se tienen en cuenta esas variables. La evidencia es ambigua respecto a densidad.
Kalseth y Rattsø (1995)	Función demanda paramétrica DEA	407 municipios noruegos, 1988	*Inputs:* gasto administrativo *per cápita*. *Outputs:* presupuesto total *per cápita.* En el modelo DEA: Tamaño de la población, porcentaje de población en escuela primaria (7-15años), el patrón de asentamiento	Tamaño de la población, porcentaje de población en escuela primaria (7-15años), el patrón de asentamiento (distancia media al centro administrativo y la tasa de crecimiento de la población.	Eficiencia media de 0,74 en la estimación paramétrica, y de 0,84 en la estimación no paramétrica. La tasa de crecimiento de la población tiende a incrementar el gasto administrativo *per cápita;* en

			(distancia media al centro administrativo y la tasa de crecimiento de la población.	*Incorporación:* Incluido en la función demanda (MCO).	cambio, cae con respecto al tamaño de la población.
Kalseth y Rattsø (1998)	MCO DEA	175 municipios noruegos, 1990	*Input:* Gasto administrativo *per cápita.* *Output:* presupuesto operativo *per cápita*, promedio de ingresos después de impuestos per cápita, tamaño de la población, porcentaje de población mayor de 67 años, distancia promedio al centro administrativo local.	Porcentaje de representantes socialistas en el consejo local, herfindahl, 4 variables *dummies* sobre la fortaleza del consejo local. *Incorporación*: En el modelo econométrico (MCO, MV) se incluyen en la función. En DEA segunda etapa del análisis Tobit.	Eficiencia media del 78,8% (DEA). Control político centralizado en un único partido, un consejo local más conservador, mayor proporción de gente mayor y un patrón de asentamiento descentralizado permiten gastos administrativos más bajos.
Lampe et al. (2015)	SFA	396 municipios alemanes, 2006-2008	*Inputs:* gastos corrientes netos (mod.1), gastos corrientes netos menos inversión real y reembolsos de préstamos (mod.2). *Outputs:* número estudiantes de escuelas primarias, número de jardines de infancia, superficie de instalaciones recreativas, población total, población mayor	Ratio de desempleo, densidad, plazas de alojamiento, ratio migración, y *dummy* contabilidad de devengo. *Incorporación:* en el término de ineficiencia de los modelos.	Evidencian empíricamente que los municipios que adoptan la contabilidad de devengo mejoran la eficiencia en costes, pero no aumenta con el paso del tiempo. Efecto significativamente positivo de migración y educación, negativo de densidad y no

			de 65 años, número de empleados cotizantes.		significativo de plazas de alojamiento turístico.
Lewis (2018)	SFA	586 municipios de Indonesia, 2001-2010	Inputs: gastos gubernamentales, hogares con acceso a electricidad proporcionada por el gobierno central. Outputs: acceso de los residentes a educación, salud e infraestructuras: ratio de matriculados a secundaria, ratio de adultos matriculados en secundaria, porcentaje de nacimientos por profesional de la salud, porcentaje de niños menores de 5 años vacunados, porcentaje de hogares con acceso a agua potable y saneamiento.	*Dummy* si el jefe del gobierno local es elegido directa o indirectamente. Población, porcentaje de población pobre, consumo personal *per cápita.*	Ineficiencia media varía entre servicios: 11,3 para educación, 9.3 para salud y 12.3 para servicios de infraestructuras. Examina los efectos sobre la eficiencia de las formas de gobierno, directamente elegido por los ciudadanos o (indirectamente) designado por el parlamento. Los gobiernos locales con ejecutivos elegidos directamente son significativamente más eficientes.
Lo Storto (2013)	DEA	103 municipios italianos, 2011	*Inputs:* gastos de gestión residuos urbanos, transporte público, consumos generales, alquileres y arrendamientos, servicios de limpieza, mantenimiento de	-	Eficiencia media varía de 85,34% (CRS) a 88,13% (VRS). Revelan una tecnología de la producción con rendimientos variables a escala. La mayoría

			vehículos y propiedades, comunicaciones, asesoría y servicios de consultoría y varios (papelería, combustibles,…). *Outputs:* infraestructuras urbanas, calidad del ecosistema urbano, guarderías, área municipal y población residente.		de los municipios ineficientes presentan rendimientos decrecientes a escala.
Lo Storto (2016)	DEA	108 municipios italianos, 2013	*Input:* gasto corriente total de los servicios básicos ofrecidos (bienestar; gestión ambiental y territorial; transporte y carreteras; educación; cultura, actividades recreativas y deporte; policía local). *Output:* tamaño del área geográfica del municipio y población residente.	Densidad, valor agregado por habitante, microcrímenes por habitante, porcentaje de desechos sólidos urbanos recogidos, ratio entre asientos por kilómetros disponibles y habitantes, los índices de desarrollo de infraestructura social, de educación pública, de cultura y de infraestructura deportiva *Incorporación:* Regresión truncada	Los municipios muestran una eficiencia media del 69,6% (CRS) y 85,2% (VRS). Los porcentajes de eficiencia más altos están asociados a contextos menos ricos, con mayor número de delitos *per cápita*, una reducida disponibilidad de instalaciones culturales, recreativas y deportivas y una mayor calidad de las instalaciones de educación pública. Los municipios ineficientes

					presentan en un alto porcentaje rendimientos decrecientes a escala.
Loikkanen y Susiluoto (2005)	DEA	353 municipios finlandeses, 1994-2002	*Input:* la suma de los costes operativos netos en salud, servicios sociales y educación. *Output:* centros de cuidado diurno para niños, guardería infantil diurna para niños, atención médica básica, atención odontológica, habitaciones en atención básica de la salud, atención institucional de personas mayores, atención institucional de discapacitados, horas de enseñanza en escuelas integrales y en escuelas de secundarias, número de préstamos en bibliotecas municipales (unos u	Población, ingresos, nivel de educación de la población, índice de variedad de servicios, distancia, tasa de urbanización ,porcentaje de servicios producidos por otros municipios y organizaciones municipales conjuntas, porcentaje de otros productores (privados), porcentaje de empleados de 35-49 años de edad, porcentaje de empleados con más de 50 años, tasa de desempleo, porcentaje de subvenciones estatales, *Incorporación*: segunda etapa del análisis regresión MCO	La eficiencia media oscila entre 0,856 y 0,898, los municipios podrían producir entre un 10 y un 15% más. La eficiencia media del periodo es de 87, 2. Encuentran que unos salarios altos, una elevada población, ubicación periférica, alto desempleo y subvenciones[85] estatales tienden a reducir la eficiencia de la prestación de servicios municipales, mientras que una densa estructura urbana, gestión privada del servicio y un alto nivel de educación de los habitantes

[85] En los primeros años del período analizado (1994-2002). Después no aparece relacionada con la eficiencia.

			otros dependiendo del modelo DEA).		tienden a aumentar la eficiencia.
Loikkanen et al. (2011)	DEA	353 municipios finlandeses, 1994-1996	*Idem* trabajo anterior.	Nivel de ingresos, nivel de estudios, tres grupos de edad de los trabajadores en los servicios de bienestar, servicios de bienestar básicos adquiridos a productores externos, tamaño municipal, densidad, localización del municipio, *dummy* sobres si el municipio es central o colindante, indicador de la variedad de servicios prestados, subvenciones estatales, tasa de desempleo, porcentaje de población nacida en el extranjero, porcentaje de partidos de izquierdas, índice Herfindahl, y rotación en las elecciones municipales. *Incorporación:* análisis de regresión MCO.	La eficiencia media anual varió de 0,856 a 0,898 (los toman del trabajo anterior). Los resultados reflejan que un alto nivel de ingresos, desempleo, alta proporción de partidos de izquierdas e inmigrantes dificultan la eficiencia. Que si se ve alentada por la densidad de población y alto nivel educativo de la población. En cuanto al tema central del estudio, si la capacidad del gestor influye en la eficiencia, se obtiene evidencia positiva al respecto.

Marques et al. (2015)	DEA	29 municipios de Tasmania, 1999-2008	*Inputs:* gastos operativos totales. *Outputs:* longitud carreteras locales, agua suministrada, número conexiones a la red de saneamiento, número de instalaciones de manipulación de alimentos inspeccionadas, número solicitudes de planificación, y número recibos sistema de información.	-	Obtiene una eficiencia media global del 74%. Los municipios podrían beneficiarse de economías de escala. El enfoque DEA de inputs compartidos les permite determinar que las funciones locales más eficientes son el suministro de agua y saneamiento aunque con un alto porcentaje de participación en el gasto, mientras que salud y seguridad ciudadana y sistemas de información las menos eficiente.
El Mehdi y Hafner (2014)	DEA FDH	91 distritos rurales de Marruecos, 1998/99	*Inputs:* Agregan 10 variables inputs (variables sobre ingresos procedentes de distintos impuestos, concesiones, subvenciones y otros ingresos) en un único indicador de ingresos operativos.	-	Ninguno de los distritos es eficiente, solo el 6% tiene una ineficiencia menor al 30%. Relación negativa entre tamaño de población e índices de eficiencia.

			Outputs: medida de la autonomía financiera (ratio ingresos propios del municipio y sus gastos operativos).		
Monkam (2014)	DEA	231 municipios en Sur África, 2007	*Inputs:* gastos operativos totales. *Outputs:* número consumidores con suministro de agua, número consumidores con saneamiento, número de consumidores con electricidad y población por municipio.	Autonomía fiscal, *dummy* sobre si el municipio tiene asignadas las funciones para prestar los cuatro servicios básicos, vacantes de trabajo, *dummies* nivel educativo de los gestores municipales, del jefe financiero y de los gestores técnicos, crecimiento de la población, porcentaje de población no escolarizada, con educación secundaria, con educación superior, con ningún ingreso, con renta inferior a 12800zar, con renta superior, número de consumidores que reciben gratis los servicios y	Eficiencia media 0.173. La autonomía fiscal y el número y nivel de habilidades del gestor de la administración municipal influyen positivamente en la eficiencia productiva de los municipios de Sur África. La existencia de puestos vacantes en el municipio refleja la dificultad para atraer gestores con experiencia y cualificados lo que va en detrimento del nivel de eficiencia.

				porcentaje de asientos del partido mayoritario. *Incorporación:* regresión Tobit.	
Moore et al. (2005)	DEA - orientación output	11servicios y eficiencia global en 46 grandes ciudades de EE.UU., 1993-1998	*Inputs:* el número de empleados a tiempo completo y el presupuesto para cada uno de los once servicios que analiza individual y globalmente (gestión de construcciones, emergencias médicas, bomberos, gestión de flotas, bibliotecas, parques, policía, residuos sólidos, mantenimiento de calles, provisión de agua y tráfico), y además, para el servicio de tráfico toma en consideración el número de vehículos, y combustible. *Outputs:* respectivamente para los servicios mencionados: m^2 de espacio disponible para construir; tiempo de respuesta del servicio médico; número de civiles	Promedio de precipitaciones y nevadas, temperaturas medias, variación en la población, porcentaje de empleados públicos, estructura del gobierno, índice de litigios estatales, temperatura máxima y mínima, población de 1990, de 1994, de 1995, de 1996, tamaño de la ciudad, impuesto estatal y local sobre las ventas recaudado por 100$ personales, ingresos fiscales estatales y locales per cápita *Incorporación*: segunda etapa del análisis Tobit.	Las ciudades con administrador o gestor profesional en lugar de un alcalde electo mejoró la eficiencia. Cuanto más rápido es el crecimiento de la población menor es la eficiencia en la provisión del servicio. Las principales ciudades proveen los servicios en escalas ineficientes (puede haber rendimientos decrecientes a escala en algunos servicios lo que implicaría que los servicios pueden ser prestados más eficientemente en una menor escala más pequeña. A menor capacidad fiscal, mayor

			muertos y pérdidas totales por fuego; número de registros y visitas; acres de espacio verde en uso; índice de criminalidad; número de ciudadanos servidos; millas de calles; número ciudadanos servidos y volumen de agua producida; y millas anuales de vehículos y annual revenue vehicle miles		eficiencia lo que podría significar recursos financieros más ajustados y más énfasis sobre la eficiencia.
Nakazawa (2013)	SFA	479 municipios japoneses, 2010	*Inputs:* gasto total de los municipios amalgamados (modelo 1) y gasto total de personal (modelo 2). *Outputs:* emplea un índice de output compuesto por cinco subíndices de los servicios cuidado de ancianos, cuidado de niños, educación, infraestructura de vida, y seguridad.	Coste medio de empleados públicos, población, área, ratio población menor de 15 años, ratio población mayor de 65 años, población diurna, número de municipios que participan en la amalgamación, *dummy* sobre la forma de amalgamación. *Incorporación:* Regresión MCO	Eficiencia técnica media 1,145 (mod.1.) y 1,10 (mod.2). Es decir, de media el 14,5% de los gastos públicos totales y el 10% de los gastos de personal se derrochan. Todas las variables tienen un efecto positivo sobre la ineficiencia, salvo población que presenta tanto economías como deseconomías sobre el gasto público. El incremento en el número de municipios que

					participan en la fusión y la amalgamación mediante la creación de un nuevo municipio genera ineficiencia debido a una mayor holgura administrativa (por la reorganización) y mayores costes de control de los residentes.
Nakazawa (2014)	SFA	479 municipios japoneses, 2010	*Inputs:* gasto total de los municipios amalgamados (modelo 1) y gasto total excepto gastos en inversión y en pagos de deuda pública (modelo 2). *Outputs:* emplea un índice de output compuesto por cinco subíndices de los servicios cuidado de ancianos, cuidado de niños, educación, infraestructura de vida, y seguridad.	3 *dummy* método organizativo centralizado, medio y descentralizado, coste medio de empleados públicos, área, población, ratio población menor de 15 años, ratio población mayor de 65 años, número de municipios que participan en la amalgamación, número de días de negociación, *dummy* para alcaldes de diferente partido político Incorporación: regresión MCO	Los costes deberían reducirse de media un 16.7% (mod.1) y un 15%(mod2). La organización de servicios públicos más descentralizada tras la amalgamación es el método que más ineficiencia produce. Además, se ve afectado por las características demográficas, geográficas, socioeconómicas y políticas consideradas.

Narbón-Perpiñá et al. (2019a).	DEA FDH Order-m DEA-corregido KSW	1574 municipios españoles, 2008-2013	*Inputs:* coste total *Output*s: número de puntos de luz, población, residuos recogidos, superficie de calles, longitud de la red de distribución de agua, Longitud de la red de alcantarillado.	-	Los resultados sugieren que la eficiencia media varía entre 0,54 y 0,77. Respecto a la comparativa de los distintos estimadores, DEA y FDH son las metodologías que mejor funcionan en su muestra.
Narbón-Perpiñá et al. (2019b)	DEA FDH Order-m DEA-corregido KSW	1574 municipios españoles, 2008-2013	*Inputs:* Coste total *Output*s: población, superficie de infraestructura vial, número de puntos de luz, tons de basura recolectada, longitud de la red de distribución de agua, longitud de la red de alcantarillado, superficie de parques públicos, superficie de bibliotecas públicas, superficie de mercados, superficie de infraestructuras deportivas.	-	Durante el periodo de crisis la eficiencia mejora. Ya que los gobiernos locales han reducido sus gastos manteniendo o mejorando la prestación de servicios.
Narbón-Perpiñá et al. (2020)	DEA	1742 municipios españoles, 2009-2015	*Inputs:* costes totales de los servicios.	Densidad de población, población jubilada, inmigrantes, desempleados, nivel de renta, signo político,	Evidencian efecto negativo sobre la eficiencia de elevados ingresos por tasas, transferencias, y niveles de

			Outputs: número de puntos de luz, población, ton. de residuos recogidos, superficie de infraestructura vial, longitud de las redes de distribución de agua, longitud redes de alcantarillado, superficie de parques públicos, superficie de bibliotecas públicas, superficie de mercado y superficie de instalaciones deportivas.	concentración política, participación electoral, ingresos por tasas *per cápita,* transferencias *per cápita*, deuda *per cápita.* *Incorporación:* Modelo de regresión cuantil.	deuda, una mayor población jubilada, alta concentración política y participación electoral. El resto de variables presenta un efecto positivo.
Nijkamp y Suzuki (2009)	DEA	34 ciudades en la prefectura de Hokkaido (Japón), 2005	*Inputs:* empleados municipales, gastos, y bonos de la ciudad *Outputs:* ingresos fiscales y nivel de servicio público	-	Eficiencia media de 0,75 a 0,82.
Pacheco et al (2014)	SFA	309 municipios chilenos, 2008-2010	*Inputs:* gasto corriente de los servicios seleccionados. *Outputs:* población, número de escuelas, media mensual del número de estudiantes matriculados en escuelas	Dependencia del fondo común municipal, porcentaje de inversión respecto al gasto total, transferencias corrientes, transferencias corrientes *per cápita*, nivel medio escolar de la	Eficiencia media del 70,1%. En el análisis por cluster hallan que los municipios con mejor eficiencia presentan una alta dependencia de los fondos común, un alto porcentaje de

			municipales, número centros de salud, m² de áreas verdes, casas con alcantarillado, residuos recogidos, organizaciones sociales.	población del municipio, *dummies* sobre población, distancia a la capital regional, Herfindahl, porcentaje de representantes del consejo que pertenecen a la coalición gubernamental. *Incorporación:* una etapa, incluidas en la función costes (Battese y Coelli, 1995)	inversión, mayor población, mayor distancia a la capital, bajos niveles educativos y alta concentración política.
Pacheco et al. (2021)	SFA	324 municipios chilenos, 2008-2018	Inputs: gasto corriente de los servicios prestados. Outputs: población, número de colegios urbanos y rurales, media mensual del número de estudiantes matriculados en escuelas municipales, número centros de salud, número de laboratorios, número clínicas rurales, número clínicas urbanas, número de puestos de salud rurales, número de otros	Población, *dummies* por población municipal, distancia al a capital, dependencia el fondo común municipal, porcentaje de inversión respecto al gasto total, transferencias corrientes, índice Herfindahl, porcentaje de escaños de la coalición gubernamental	Eficiencia media varía de 0,399 a 0,471 dependiendo del modelo calculado. La eficiencia media cae a lo largo del período estudiado en 40 puntos. El análisis de determinantes sugiere que los municipios con más de 100.000 habitantes, más cercanos a la capital, menor capacidad fiscal y que reciben más transferencias presentan mayores niveles de eficiencia.

			establecimientos de salud municipales, número de servicios de atención primaria de emergencias, m² de áreas verdes, gasto de los servicios de limpieza, recogida de basura y vertedero, cobertura de agua potable, club deportivos, centros de madres, organizaciones de mayores, centros para padres, consejos vecinales, organizaciones comunitarias funcionales, organizaciones comunitarias con estatuto legal y sindicatos comunitarios.	*Incorporación:* en el término de ineficiencia (Battese y Coelli, 1995). Densidad de población, *dummy* urbano o rural, impuesto territorial municipal, jerarquía política administrativa, ingresos procedentes de derechos comerciales, porcentaje de población que vive en la pobreza. *Incorporación:* en la distribución estimada de ineficiencia (Kopsakangas-Savolainen y Svento, 2011)	Los factores políticos nos son significativos. En el estudio de la heterogeneidad sugiere que los municipios que son capital regional o provincial y que recaudan más impuestos son más eficientes.
Pérez-López et al (2015)	FDH Order-m	1.058 municipios españoles, 2001 - 2010	*Inputs:* Coste municipal total. *Outputs:* longitud de la red de agua, ton. de residuos recogidos, número de puntos de luz, superficie de cementerios,	Desempleo, índice turismo, tamaño, índice impuesto sobre la renta, deudas presupuestarias no financieras, índice resultado	Eficiencia media 0,85. De las distintas formas de prestación de servicios que se derivan de la NGP, sólo la creación de empresas mixtas contribuye a

			superficie de parques, área urbana, población total	presupuestario, índice caja, índice transferencias recibidas, deuda municipal *per cápita*, número de agencias, número de servicios subcontratados, número de empresas mixtas, número de asociaciones intermunicipales y tres *dummies:* orientación política, fortaleza política y gran recesión. *Incorporación:* segunda etapa del análisis mediante regresión truncada SW	mejorar la eficiencia en costes. El efecto de las variables resultado presupuestario e índice de turismo es positivo. Negativo para el porcentaje de pagos realizados por caja, de transferencias recibidas, la tasa de desempleo y fortaleza política.
Pevcin (2014)	SFA DEA	200 municipios eslovenos, 2011	Inputs: gasto total. Outputs: población total, número alumnos en primaria, población mayor de 65, número empleados municipales, tasa desempleo y densidad de población.	-	Eficiencia media va de 0.813 (CRS) a 0,883(VRS) siendo ligeramente inferior la estimación SFA (75-78%).
Prieto y Zofio	DEA	209 municipios	*Inputs:* gasto presupuestario	-	

(2001)		españoles de Castilla y León, 1994	*Output*s: agua potable, recogida de residuos domésticos, superficie de carreteras, puntos de luz, infraestructuras deportivas y culturales, parques.		
Radulovic y Dragutinović (2015)	SFA	143 municipios serbios, 2012	*Inputs:* gastos corrientes *Output*s: población residente, porcentaje de usuarios de protección social, número de colegios y preescolar, longitud de carreteras de calidad mantenidas por el gobierno local, número de conexiones de agua y número de conexiones al alcantarillado.	Porcentaje de población con educación secundaria, porcentaje de graduados universitarios, densidad, distancia a la ruta europea E75, índice de edad, y desempleo. *Incorporación:* se incluyen en la función de costes.	De media los municipios podrían reducir sus gastos corrientes un 25,2%. (22,7% si se incluyen las variables exógenas). Los resultados muestran que el peso de la ineficiencia en el término de error es alto. La eficiencia está positivamente relacionada con la densidad, y negativamente con el índice de edad y con el nivel de desempleo.
Sampaio de Sousa et al. (2005)	DEA	4796 municipios brasileños, 2000	*Inputs:* gastos corrientes totales, número de profesores, número de hospitales y centros de salud, ratio de mortalidad infantil.	Gastos de personal, porcentaje de de hogares cuya cabeza de familia gana hasta el salario mínimo, ganancias promedio, *dumy* sobre el partido político	Eficiencia media del 52%. Asociación positiva con la eficiencia del nivel de uso de ordenadores, del ratio de urbanización, la concentración

			*Output*s: población residente, población alfabetizada, matriculados por colegio, asistencia del estudiante por colegio, estudiantes que promocionan al siguiente curso, estudiantes en el curso que les corresponde, hogares con acceso a agua potable, hogares con acceso a sistema de alcantarillado, hogares con acceso a recogida de basuras.	del alcalde, grado de actualización del registro inmobiliario, participación en consorcios intermunicipales, nivel de utilización del ordenador, poder de decisión de los consejos municipales, densidad de población, tasa de urbanización, proyecto Alvorada para comunidades con bajos ingresos, área de sequía, capital, municipio turístico, royalties. *Incorporación:* Regresión lineal.	de la población y la participación en el proyecto para municipios de bajos ingresos. Mientras que los municipios localizados en zonas desérticas, turísticos o con disponibilidad de mayores recursos derivados de royalties presentan niveles de eficiencia menores.
Sampaio de Sousa y Ramos (1999)	DEA FDH	3.756 municipios brasileños, 1991	*Inputs:* gastos corrientes totales *Output*s: población residente, hogares con agua, hogares con recogida de basuras, población analfabeta, número de estudiantes en educación primaria y secundaria.	-	La descentralización conlleva operar con elevados costes medios provoca derroche de recursos.

Sampaio de Sousa y Stošić (2005)	Método "Jackstrap" DEA FDH	4796 municipios brasileños, 2000	*Inputs:* gastos corrientes totales, número de profesores, número de hospitales y centros de salud, ratio de mortalidad infantil. *Output*s: población residente, población alfabetizada, matriculados por colegio, asistencia del estudiante por colegio, estudiantes que promocionan al siguiente curso, estudiantes en el curso que les corresponde, hogares con acceso a agua segura, hogares con acceso a sistema de alcantarillado, hogares con acceso a recogida de basuras.	-	Niveles de eficiencia media del 52% (DEA-CRS –VRS) y 92% (FDH). Los municipios pequeños son menos eficientes. Las razones que explicarían este hecho serían la presencia de economías de escala, los elevados niveles de renta *per cápita bien* por los royalties al petróleo y al agua o por el turismo, que llevan al gasto excesivo y la infraestimación de la población respectivamente.
Sørensen (2014)	Modelo de Regresión	430 municipios noruegos, 2001- 2010	*Input:* ingresos municipales procedentes de tres fuentes: impuestos locales, subvenciones gubernamentales y tasas a los usuarios; y los gastos per cápita. *Outputs:* índice compuesto por los principales servicios públicos	Tamaño de la población, porcentaje de población de 0-5, de 6 a 15 y de más de 67, porcentaje de población con estudios superiores, contribuciones a la seguridad social, Herfindahl, mayoría	Eficiencia media relativa 1,00 El análisis empírico sugiere que la polarización electoral y el predominio partidista causan un menor rendimiento del gobierno, y estos efectos parecen reforzarse

				socialista, dominio electoral y polarización política. *Incorporación:* incluida en la función de producción	mutuamente. Este problema tiene mayor incidencia en los municipios de altos ingresos.
Šťastná y Gregor (2011)	SFA DEA	202 municipios checos, 2003-2008	*Input:* gasto corriente total *Output:* Alumnos en escuelas primarias y jardines de infancia, porcentaje de alumnos que ingresan a escuelas secundarias , instalaciones culturales, museos municipales y galerías, objetos en la reserva de monumentos, área deportiva y recreativa, tons de desechos municipales, reservas naturales, área de contaminación, área verde urbana, área edificada, viviendas nuevas, número de negocios, carreteras municipales, estaciones de autobús, población en el distrito, población mayor de 65 años, hogares para discapacitados, *dummy* policía	Población, graduados universitarios, distancia del centro regional, subsidios, gastos de capital *per cápita*, ingresos propios, *dummy* deuda, concentración política (Herfindahl), partidos de izquierdas en el parlamento, partidos parlamentarios, participación electoral, *dummy* año electoral *Incorporación:* estimación en una única etapa, en el término de error de la frontera estimada	Eficiencia media varía dependiendo de la metodología empleada para estimarla 0,786 (DEA-VRS) o 0,69(DEA-VRS-corregido). La eficiencia mejora significativamente en los municipios pequeños incrementándose la ineficiencia con el tamaño de la población, la distancia al centro regional, el porcentaje de ciudadanos con estudios universitarios, las subvenciones per cápita y el porcentaje de ingresos autogenerados. De las variables políticas consideradas solo la

			municipal. . Que agregan usando el análisis de componentes principales.		participación electoral es significativa advirtiéndose que una alta participación disminuye la ineficiencia.
Šťastná y Gregor (2015)	SFA	202 gobiernos locales de la República Checa, 1995-1998 y 2005-2008	*Input:* gasto corriente total. *Output:* Alumnos en jardines de infancia, alumnos de jardines de infancia y escuelas primarias, instalaciones culturales, monumentos municipales, instalaciones deportivas, área deportiva y recreativa, reservas naturales, área urbanizada, área verde urbana, tons de residuos, número de negocios, longitud de carreteras, tamaño de carreteras, paradas de autobús, hogares para discapacitados, población mayor de 65 años, *dummy* policía municipal, proporción de poblaciones del distrito / municipio. Que agregan usando el	*Dummies* tamaño de la población, porcentaje de ingresos autogenerados, gastos de capital *per cápita*, subvenciones *per cápita*, porcentaje de graduados universitarios, participación electoral, distancia geográfica al centro del distrito, distancia geográfica al centro regional, ideología del alcalde, fortaleza del alcalde *Incorporación:* estimación en una única etapa, en el término de error de la frontera estimada	La eficiencia media incrementa pasando de un 0,62 durante la transición a un 0,69 tras la misma. Esa mejoría se aprecia principalmente en los pequeños municipios que presentan restricciones presupuestarias más estrictas que los grandes. Novedoso resultado respecto al porcentaje de ciudadanos con educación superior que impide la eficiencia en costes. La ideología de izquierdas es asociada a una mayor ineficiencia durante la transición. Tras la transición la ideología de derechas implica

			análisis de componentes principales.		incrementos en la eficiencia. El entorno en el que opera el municipio explica en mayor medida la distancia de los municipios respecto a la frontera en el periodo de transición que tras el mismo.
Sung (2007)	DEA	222 municipios koreanos, 1999-2001	*Inputs:* número funcionarios local cada 100 personas, gastos anuales constantes *per cápita.* Outputs: ratio agua suministrada, área parques urbanos por persona, ratio longitud de carreteras, número vehículos por persona, ratio aguas residuales y eliminación de basuras, capacidad en instituciones de bienestar por cada 100 personas, beneficiarios de renta básica cada 100 personas, número permisos de construcción cada 100 hogares, y número	Residentes locales, densidad de población, área por cada 100 funcionarios locales, número establecimientos, número de establecimientos relacionados con el sector servicios, incluidos hoteles y restaurantes, por persona y número de trabajadores por persona e impuestos locales recaudados por persona. Incorporación: regresión censurada Tobit	Eficiencia media entre 0,756 y 0,988 dependiendo del modelo DEA. La tecnología de la información mejora la eficiencia técnica. Las economías de densidad pueden funcionar en la producción de bienes públicos.

			asuntos civiles y peticiones por persona.		
Vanden Eeckaut et al. (1993)	DEA FDH	235 municipios belgas, 1985	*Inputs:* gastos corrientes totales. *Outputs:* población; porcentaje de población mayor de 65 años, número de beneficiarios de subsidios, número de estudiantes en escuelas primarias; superficie de carreteras municipales, número de crímenes locales.	*Variable dependiente:* el logaritmo del gasto corriente. *Variables explicativas*: los logaritmos de los seis indicadores output señalados. Factores políticos (mayorías, composición política, número de partidos) Tratamiento: MCO	Hay un 60% más de municipios eficientes bajo FDH que bajo DEA. Los resultados insinúan una mejor eficiencia en municipios con menos partidos en coalición en el gobierno o en mayoría y en aquellos gestionados por partidos nacionales. Asociación positiva para los seis indicadores, todos significativos excepto para número de beneficiarios de subvenciones
Worthington (2000)	DEA SFA	177 municipios australianos, 1993	*Inputs:* número de trabajadores a tiempo completo, gastos financieros, otros gastos físicos. Precios de los inputs: salario medio municipal, gastos físicos divididos por activos corrientes, tasa de interés promedio pagada.	Subvenciones, ratio del servicio de la deuda (intereses y capital), nivel activos corrientes, coeficiente circulante de la empresa, número de empleados *per 1000*	Eficiencia media 0,699 (DEA) y 0,867en SFA. Existen diferencias sustanciales en los índices de eficiencia derivados de las diferentes tecnologías de referencia empleadas. Los resultados de

			*Output*s: población, número de propiedades adquiridas para proveer los siguientes servicios: agua potable, recogida de residuos domésticos, superficie de caminos rurales y urbanos.	*cápita*, tarifa promedio por evaluación residencial. *Incorporación:* segunda etapa regresión Tobit	las regresiones Tobit son contradictorios dependiendo de si se emplean los índices DEA o SFA, lo que parece señalar que el uso de tecnologías de referencia diferentes tiene una influencia notable.
Yusfany (2015)	DEA	491 municipios de Indonesia, 2010	*Input:* gasto regional *per cápita.* *Outputs:* agregado de 12 indicadores del rendimiento en 5 áreas de servicio del gobierno local (educación, salud, trabajos públicos, viviendas y zonas residenciales, esfera económica).	Ingresos de impuestos per cápita, transferencias per cápita, renta per cápita, densidad de población, fondos sobrantes del presupuesto año anterior e índice Herfindahl. *Incorporación:* regresión Tobit	Eficiencia media 50,7%. Las variables transferencias y presupuesto sobrante del año anterior tienen un efecto significativamente negativo sobre la eficiencia del gobierno local, mientras que una alta densidad de población y concentración política tienen un efecto positivo.
Zafra-Gomez y Muñiz (2010)	DEA	923 municipios españoles, 2000 y 2005	*Inputs:* costes de personal, gastos en bienes y servicios, transferencias corrientes e inversión real.	- Índice agregado de la condición financiera, calidad.	Los índices de eficiencia media son de 71,07% para el año 2000 y del 69,17% para 2005. La eficiencia aumenta conforme se

			Outputs: número de puntos de luz, población total, tons basura recogida, longitud de la red de carreteras y área de parques públicos.	*Incorporación:* test de hipótesis usando Test de Li (1996)	incrementa la población. Los pequeños municipios sufren ineficiencia en costes, buscando más que reducir calidad, incrementar los ingresos mediante el endeudamiento y el aumento de los impuestos locales.

ANEXO 2. Estudios sobre la eficiencia y sus determinantes en el servicio de alumbrado público

Tabla A.2: Resumen de los estudios sobre la eficiencia y sus determinantes en el servicio de A.P. en España

Eficiencia en la prestación del servicio público de Alumbrado en gobiernos municipales españoles					
Estudio	**Enfoque**	**Muestra, Año**	**Factores controlables**	**Otros factores**	**Resultados**
Benito et al. (2020)	DEA	1547 municipios, 2014-2017	*Inputs:* coste efectivo, potencia instalada, y número de puntos de luz. *Outputs:* superficie iluminada.	Densidad, horas de luz, área urbana, índice turismo, ingresos presupuestarios *per cápita*, ideología, Herfindahl, y tres *dummies* para tipo de gestión: pública, privada, mixta. *Tratamiento:* en segunda etapa mediante regresión truncada.	La eficiencia media varía entre el 24% (2014) y el 25,4% (2016). La eficiencia interanual (índice Malmquist) varía entre 4.3 y 8.39 de media. En la regresión respecto al índice de eficiencia anual todas las variables exógenas son significativas. Mayor densidad y área urbanizada, más disponibilidad de recursos, un alcalde conservador y gestión privada o mixta del servicio produce menores niveles de eficiencia. Lo opuesto es cierto para municipios turísticos, con más horas de luz y gestión pública del servicio.
Prado y García (2007)	DEA	24 municipios españoles,	*Inputs:* recursos humanos, número de farolas, uso de energía eléctrica (modelo 1). Coste total (modelo 2). *Outputs:* área iluminada, número de horas que las farolas están encendidas,	Área del municipio, densidad de población, horas de luz solar, número de actos de vandalismo. *Tratamiento:* en segunda etapa mediante regresión truncada SW.	La eficiencia media (O.o) del servicio es del 91% (DEA-VRS), 80% (DEA-VRS- insesgada) y 70% (DEA-CRS). Considerando el coste total como input la eficiencia media se sitúa en el 79,38%. Las variables que definen el contexto no presentan impacto significativo. Tampoco encuentran relación entre el tipo de gestión y la eficiencia de los municipios.

			número de horas en que las farolas permanecen estropeadas.	*Dummy* tipo de gestión (pública o privada). *Tratamiento:* Test no-paramétrico Mamm-Whitney	